

**This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

**Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.**

**Defects in the images may include (but are not limited to):**

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORLED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# Deutsches Patent- und Markenamt

München, den 20. Juli 2000

Telefon: (0 89) 21 95 - 3206

Aktenzeichen: 200 03 515.0

Anmelder: VAW aluminium AG

Deutsches Patent- und Markenamt · 80297 München

Patent- und Rechtsanwälte  
Harwardt, Neumann  
Postfach 14 55

53704 Siegburg

P&E HARWARDT NEUMANN	
EINGANG	
- 3. Aug. 2000	
rec. not. Bolz	
Vorname	
Postfach	

A

Ihr Zeichen: Q00903DE00

Bitte Aktenzeichen und Anmelder bei  
allen Eingaben und Zahlungen angeben

Zutreffendes ist angekreuzt ☒ und/oder aus ausgefüllt

## Ergebnis einer Druckschriftenermittlung

Auf den Antrag des  
wirksam am 28.02.2000 gemäß ☐ § 43 Patentgesetz ☒ § 7 Gebrauchsmustergesetz  
sind die auf den beigefügten Anlagen angegebenen öffentlichen Druckschriften ermittelt worden.  
Ermittelt wurde in folgenden Patentklassen:

Klasse/Gruppe	Prüfer	Patentabt.
B23K 26/00	Rauhut	34

Die Recherche im Deutschen Patent- und Markenamt stützt sich auf die Patentliteratur folgender Länder und Organisationen:

Deutschland (DE,DD), Österreich, Schweiz, Frankreich, Großbritannien, USA, Japan (Abstracts),  
UDSSR (Abstracts), Europäisches Patentamt, WIPO.

Recherchiert wurde außerdem in folgenden Datenbanken:

Anlagen: 2-fach  
Anlagen 1, 2 und 3 zur Mitteilung der ermittelten Druckschriften

Patentabteilung 11  
Recherchen-Leitstelle

2 Druckschrift(en) bzw. Ablichtung(en)



2251  
19  
5

Annahmestelle und  
Nachbriefkasten  
nur  
Zweibrückenstraße 12

Dienstgebäude  
Zweibrückenstraße 12 (Hauptgebäude)  
Zweibrückenstraße S-7 (Breiterhof)  
Cinnamstraße 64  
Rosenheimer Straße 116  
Balansstraße 59

Hausadresse (für Fracht)  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Zweibrückenstraße 12  
80331 München

Telefon (089) 2195-0  
Telefax (089) 2195-2221

Bank: Landeszentralbank München 700 010 54  
(BLZ 700 000 00)

Internet-Adresse <http://www.patent-und-markenamt.de>



200 03 515.0

Deutsches Patent- und Markenamt - 80297 München

Anlage 1

zur Mitteilung über die ermittelten Druckschriften  
gemäß § 7 Abs. 2 des Gebrauchsmustergesetzes

Druckschriften:

DE 197 11 232 C1

EP 09 50 461 A2



Aktenzeichen

200 03 515.0

Erläuterungen zu den ermittelten Druckschriften:			
1	2		3
Kate- gorie	Ermittelte Druckschriften/Erläuterungen		Betrifft Anspruch
Y	DE	197 11 232 C1 Fig.2-4	1-5
Y	EP	09 50 461 A2 Anspr.1	1,5





## PATENT COOPERATION TREATY

PCT

From the INTERNATIONAL BUREAU

NOTIFICATION OF THE RECORDING  
OF A CHANGE(PCT Rule 92bis.1 and  
Administrative Instructions, Section 422)

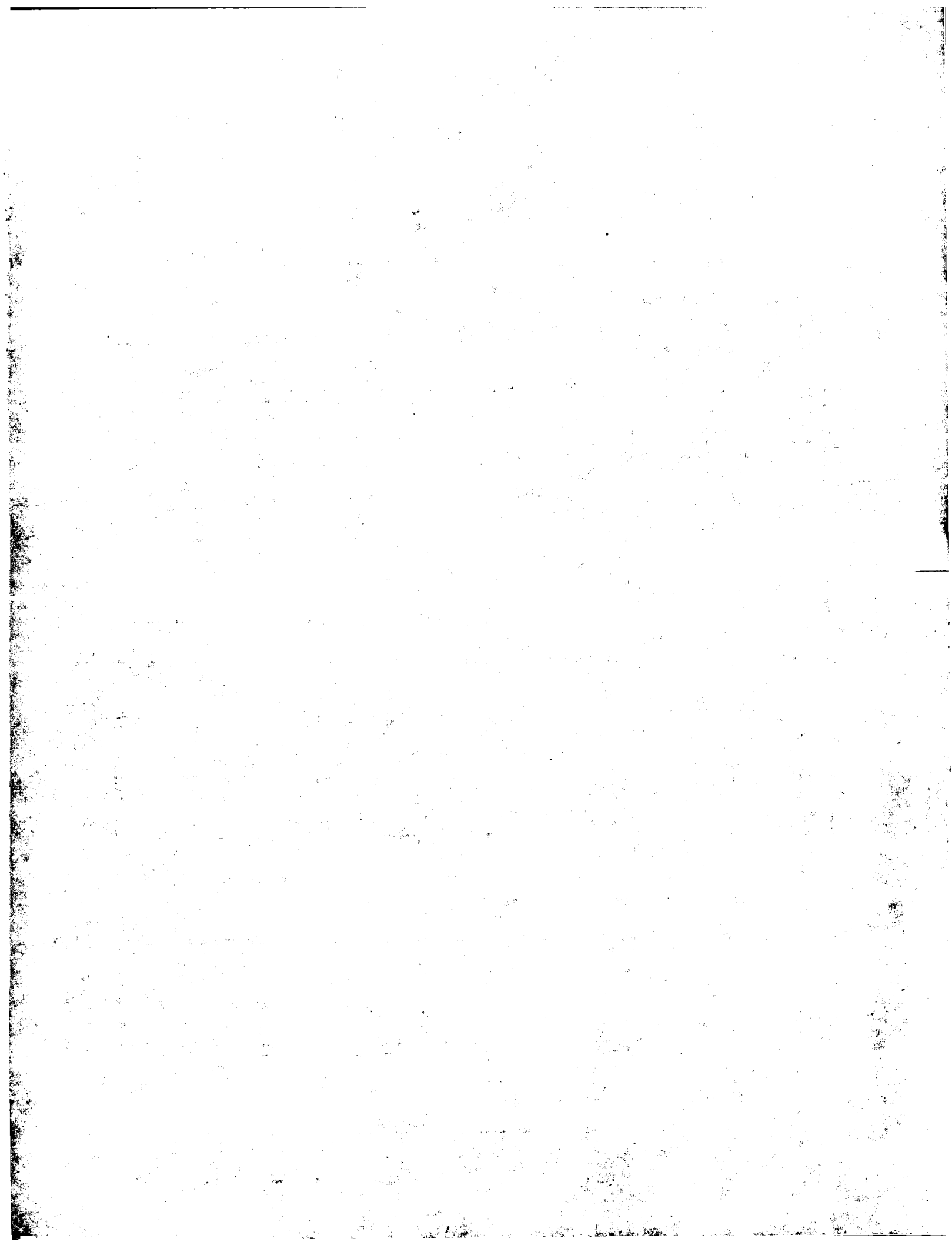
To:

SIMONS, Johannes  
Cohausz & Florack  
Kanzlerstrasse 8a  
40472 Düsseldorf  
ALLEMAGNE

Date of mailing (day/month/year) 01 November 2001 (01.11.01)	<b>IMPORTANT NOTIFICATION</b>
Applicant's or agent's file reference 000903W010	
International application No. PCT/EP01/01932	International filing date (day/month/year) 21 February 2001 (21.02.01)

1. The following indications appeared on record concerning:		
<input type="checkbox"/> the applicant	<input type="checkbox"/> the inventor	<input checked="" type="checkbox"/> the agent
<input type="checkbox"/> the common representative		
Name and Address	State of Nationality	State of Residence
	Telephone No.	
	Facsimile No.	
	Teleprinter No.	
2. The International Bureau hereby notifies the applicant that the following change has been recorded concerning:		
<input checked="" type="checkbox"/> the person	<input type="checkbox"/> the name	<input type="checkbox"/> the address
<input type="checkbox"/> the nationality		
<input type="checkbox"/> the residence		
Name and Address SIMONS, Johannes Cohausz & Florack Kanzlerstrasse 8a 40472 Düsseldorf Germany	State of Nationality	State of Residence
	Telephone No. 0211-90 49 00	
	Facsimile No. 0211-90 49 049	
	Teleprinter No.	
3. Further observations, if necessary: <b>Please note the appointment of the new agent of records.</b>		
4. A copy of this notification has been sent to:		
<input checked="" type="checkbox"/> the receiving Office	<input checked="" type="checkbox"/> the designated Offices concerned	
<input type="checkbox"/> the International Searching Authority	<input type="checkbox"/> the elected Offices concerned	
<input type="checkbox"/> the International Preliminary Examining Authority	<input type="checkbox"/> other:	

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland	Authorized officer  N. Wagner
Facsimile No.: (41-22) 740.14.35	Telephone No.: (41-22) 338.83.38



(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten zylindrischen, teilzylindrischen oder hohlzylindrischen Bauteiles, wobei in der Auftreffzone des Energiestrahls ein lokal begrenztes Schmelzbad mit einer Erwärmungs- und Aufschmelzfront (20), einer Lösungszone (21) und einer Erstarrungsfront (22) erzeugt wird. Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, bestehend aus einer Werkstückspannvorrichtung (1), auf der ein Werkstück über Indexbohrungen und/oder über Bearbeitungsflächen ausgerichtet und eingespannt wird, auf dessen Oberfläche eine Pulverzuführung (5) und ein fokussierbarer Strahl aus einem Strahlkopf (4) gerichtet ist.

**WO 01/64385 A1**



(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

---

Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten zylindrischen, teilzylindrischen oder hohlzylindrischen Bauteils und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

---

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten zylindrischen, teilzylindrischen oder hohlzylindrischen Bauteiles, wobei ein Energiestrahl mit einer linienförmigen Strahlfläche, im folgenden Linienfokus genannt, auf eine Werkstückoberfläche gerichtet, dadurch die Werkstückoberfläche aufgeschmolzen und ein Hartstoff- oder ein Legierungspulver in die aufgeschmolzene Oberfläche zugeführt wird, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Aus der WO 97/10067 ist ein Verfahren zur Beschichtung metallischer Werkstücke bekannt, bei dem metallhaltiges Pulver mit einem Laserstrahl aufgeschmolzen und dann auf die Oberfläche des metallischen Werkstücks aufgetragen wird. Gemäß Patentanspruch 1 der WO-Schrift soll das Pulver koaxial zu dem Laserstrahl in den Schmelzebereich geführt werden und in Form von 0,1 bis 1 mm breiten Spuren über eine größere Fläche verteilt werden.

Zur Durchführung des bekannten Verfahrens ist gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der WO 97/10067 eine Vorrichtung zur Pulverzuführung koaxial an einem Laserstrahl-Fokussierkopf relativ zueinander in dreiachsiger Richtung verfahrbar sind. Die Verfahrbarkeit ist jedoch wegen der erforderlichen Regeltechnik nur eingeschränkt möglich.

Für eine großtechnisch einsetzbare Beschichtungsanlage sind Spurbreiten von 0,1 bis 1 mm unwirtschaftlich und dreiachsig bewegliche Vorrichtungen zu aufwendig. Außerdem können mit der be-

kannten Vorrichtung nicht unmittelbar größere Flächen, wie z.B. Innenlaufflächen von Zylinderwandungen, beschichtet werden.

Zur Durchführung einer Beschichtung auf Innenlaufflächen sind Laufflächenbehandlungsanlagen bekannt, bestehend aus einer drehbaren Spannvorrichtung für einen Zylinderblock, einer Laserbehandlungseinheit mit einem Strahlkopf, die mit einer Pulverzuführungsvorrichtung verbunden ist, und einer Transfereinheit, die den Zylinderblock vor der Laserbehandlungseinheit positioniert und einem Antrieb für die Bewegung der Transfereinheit entlang einer Transferachse.

Für derartige Laufflächenbehandlungsanlagen bestehen hohe Anforderungen an die Präzision hinsichtlich der Ausrichtung der Anlagenteile und deren Verschleißverhalten, da die damit hergestellten Motorblöcke später mit separat hergestellten Kolben ausgerüstet werden und aus Kostengründen möglichst auf eine aufwendige Nachbehandlung verzichtet werden soll.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein wirtschaftliches, großtechnisch anwendbares Oberflächenbehandlungsverfahren für zylindrische oder teilzylindrische Oberflächenformen zu entwickeln, mit dem ein tribologisch optimierter, wärmebehandelbarer Hohlzylinderrohling günstig herstellbar ist. Die neue Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens soll mit einer hohen Genauigkeit arbeiten und eine gute Einstellbarkeit für die verschiedenen Prozeßparameter ermöglichen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die in den Patentansprüchen angegebenen Merkmale gelöst. In zahlreichen Versuchen wurde festgestellt, daß eine hohe Genauigkeit und ein geringeres Verschleißverhalten der Laufflächenbehandlungsanlage und der darauf produzierten Teile dann erreicht werden kann, wenn

1. die Aufspannebene der Spannvorrichtung 1 parallel zur Strahlrichtung der Lasereinheit 3 ausgerichtet ist,

2. die Lasereinheit 3 senkrecht zur Aufspannebene der Spannvorrichtung 1 verschiebbar ist, wobei die Strahlrichtung senkrecht zur Transferachse 10 in einem Winkel  $\alpha < 45^\circ$  zum Schwerkraftvektor ausgerichtet ist und
3. die Pulverzugabe 5 entweder direkt in Strahlrichtung der Lasereinheit 3 oder (in Vorschubrichtung gesehen) kurz vor der Strahlaufftreffzone 12 mündet.

Für eine kostengünstige Bearbeitung in der Laufflächenbehandlungsanlage ist vorgesehen, daß eine Laserbehandlungseinheit 3 aus mehreren Strahleinrichtungen oder einer Einrichtung mit geteiltem Strahl besteht, die in eine Zylinderbohrung einfahrbar sind, wobei mehrere Bearbeitungszonen auf der Zylinderwand hintereinander (in Zylinderachsrichtung gesehen) angeordnet sind.

Ferner kann die Produktionskapazität der Laufflächenbehandlungsanlage dadurch verbessert werden, daß die Pulverzuführungseinrichtung 5 aus mehreren Zugabeeinrichtungen gleicher Anzahl wie Bearbeitungszonen besteht, die in eine Zylinderbohrung einfahrbar sind, wobei die Zugabeöffnungen hintereinander (in Zylinderachsrichtung gesehen) angeordnet sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren besteht in einer Kombination von

- a) Linienfokus mit Linienbreiten quer zur Vorschubrichtung von größer 4 mm,
- b) Hochenergiestrahle mit einer Wellenlänge zwischen 780 und 940 nm und eine
- c) Pulverzugabe in der Wannenlage verbunden mit einer spezifischen Energieeinbringung von 5.000 - 600.000 W/cm<sup>2</sup> herstellbar ist.

Zur gesteuerten Si-Kornverteilung und Ausbildung von Siliziumprimärkristallen bei Phasendurchmessern von bis zu 80  $\mu\text{m}$  in der eutektisch erstarrenden Restschmelze trägt

d) die Abkühlungsgeschwindigkeit 200 - 600 K/sec bei.

Der Verfahrensschritt e) bedeutet, daß der Hartstoff, z.B. das Silizium, im Schmelzbad vollständig gelöst werden muß.

Die Zeitdauer ist abhängig von der spezifischen Leistung des Lasers. Wenn der Linienfokus zulange einwirkt, entsteht Porenbildung durch Verdampfen des Aluminiums bzw. der Matrixlegierung und die Hartstoffe können verklumpen.

Die Vorschubgeschwindigkeit soll gemäß Verfahrensschritt f) unter 10.000 mm/min liegen, da sonst die Eintrittsenergie für den Eintritt des Hartstoffs in die Schmelze nicht ausreicht. Bei gegebener Leistung soll der Laserstrahl in die Matrix eingekoppelt werden mit einer Energieausbeute von 40 - 60 %. Bei zu hoher Abkühlungsgeschwindigkeit  $> 600$  K/sec reicht die Lösungszeit für den Hartstoff nicht aus, bei unter 200 K/sec entstehen Risse in der Auflegierungszone, da zuviel Hartstoff in Lösung geht.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung können mehrere Energiestrahleinheiten als weitere Parameter zur Steuerung der Gefügeeigenschaften durch räumlich veränderbare Abkühlungsgeschwindigkeiten genutzt werden.

Dadurch sind räumlich unterschiedliche Oberflächenhärten einstellbar, die eine rein mechanische Weiterbearbeitung und Endbearbeitung ermöglichen. Wenn die Oberflächenhärte größer 160 HV wird, kann mit Diamantwerkstoff ohne Riefenbildung und ohne Verschmieren gehont werden. Dabei können in einem weiteren Bearbeitungsgang rein mechanisch die Siliziumprimärkristalle oder andere Hartstoffe mit  $> 1 \mu\text{m}$  Durchmesser an der Oberfläche mit  $< 1 \mu\text{m}$  abtragend freigelegt werden.

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel soll der Linienfokus in Doppelspur hintereinander (bezogen auf die Vorschubrichtung)



auf die zu legierende Oberfläche gerichtet werden, so daß eine partielle Wärmebehandlung durch Härtung, Rekristallisation, Verlängerung der Ausscheidungszeit, Homogenisierung und Phasenvergrößerungen der Ausscheidungen möglich wird.

Gemäß einem weiteren bevorzugten Anwendungsfall kann auch die Pulverkomponente in einer Doppelspur aufgetragen werden, so daß hier unterschiedliche Zusammensetzungen und Auftragsraten möglich sind, z.B. Aufbau von Gradientenwerkstoffen mit gesteuerter Legierungsbildung.

Für das Anfahren und Abschalten der Beschichtungseinrichtung kann in bevorzugter Weise eine regelbare Blende eingesetzt werden, die zur Verlängerung oder Verkürzung der Linienfokus-Breite in Vorschubrichtung gesehen dient.

Im Gegensatz zu der bekannten Beschichtungsvorrichtung gemäß DE 198 17 091 A1 (NU TECH/VAW motor GmbH) wird mit einer einachsigen beweglichen Energiestrahlvorrichtung und einem mehrachsigen beweglichen Bauteil gearbeitet. Hierbei ist es von besonderem Vorteil, daß die Drehgeschwindigkeit des Werkstückes veränderbar ist, um ein grobphasiges Gefüge (durch langsame Drehung) oder ein feinzelliges bzw. feinphasiges Gefüge (durch schnelleres Drehen) bei gleichem Energieeintrag zu verwirklichen.

Wie bereits erwähnt, kann eine Doppelspur zum Einlegieren verschiedener Legierungstypen verwendet werden. Das Pulver kann einstufig (ein Pulverstrahl) oder mehrstufig (mehrere Pulverstrahlen) über entsprechend geformte Pulverschlitzdüsen auf die Werkstückoberfläche aufgebracht werden. Die Linienfokus-Breite beträgt mindestens 4 mm, vorzugsweise 5 bis 15 mm.

Eine Besonderheit des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß variable Eindringtiefen zwischen 100 - 2500 µm durch Veränderung der Vorschubgeschwindigkeit und/oder durch den flächenbezogenen Energieeintrag darstellbar sind. Zur verbesserten

Einkoppelung wird vorzugsweise ein Diodenlaser mit dem im Anspruch angegebenen Wellenlängenbereich verwendet, der in Verbindung mit einem vorher aufgetragenen Hartstoffpulver und hartstoffhaltige Pulver, besonders Si oder Si-haltiges Pulver, eine hervorragende Wärmeeinbringung in die Tiefe des Bauteils ermöglicht.

Im folgenden wird die Erfindung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1            Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Lauf-  
flächenbehandlungsanlage während der Behandlung  
eines Zylinderblockes,
- Figur 2            Längsschnitt durch eine erfindungsgemäße Lauf-  
flächenbehandlungsanlage während des Einfahrens  
in einen 4-Zylinder-Reihenmotorblock,
- Figuren 3 - 5    Ausschnitt X gemäß Figur 2 in vergrößerten Dar-  
stellungen,
- Figur 6            Querschnitt analog zu Figur 1 mit 2 Strahlköpfen,
- Fig. 7            Prinzipbild zur Erläuterung des erfindungsgemäßen  
Herstellungsverfahrens,
- Fig. 8            Längsschnitt durch eine erfindungsgemäße Lauf-  
flächenbehandlungsanlage mit Pulverzufuhr über  
eine Vibrationsförderrinne,
- Fig. 9            Querschnitt entlang AA von Figur 8,
- Fig. 10           Vergrößerter Ausschnitt Y aus Figur 8,
- Fig. 11           Prinzip eines Schneckenförderers analog zu Figur  
1.

In Figur 1 ist in einer Spannvorrichtung 1 ein Zylinderblock 2 eines 4-Zylinder-Reihenmotors so eingespannt, daß die Längsachse des Reihenmotors in Schwerkraftvektorrichtung zeigt.

Eine Laserbehandlungseinheit 3 ragt mit dem Strahlkopf 4 in die Bohrung des Zylinderblockes 2 hinein. Der Strahlkopf ist in Richtung einer Transferachse 10 (senkrecht zur Zeichnungsebene) verschiebbar.

Aus dem Strahlkopf 4 tritt in Schwerkrafttrichtung ein Laserstrahl aus, der in der Strahlauftreffzone 12 auf die Oberfläche der Zylinderwand trifft und dort eine Erwärmungszone 11, eine Schmelzzone 12 und eine Erstarrungszone 13 bildet.

Im Bereich der Strahlauftreffzone mündet auch eine Pulverzuführungsvorrichtung 5, mit der ein Pulverstrahl 9 entweder direkt in Strahlrichtung oder - in Vorschubrichtung gesehen - kurz vor dem Auftreffpunkt der Laserstrahlen auf die zu behandelnde Zylinderwand aufgebracht wird. Mit der Aufbringung des Pulvers können die Gefügeeigenschaften sowohl von der Legierungsseite her als auch von der Art der Gefügebildung beeinflußt werden. Dies geschieht z. B. durch Art und Menge des zugeführten Pulvers.

In einer nicht dargestellten Variante können mehrere Pulverzuführungsvorrichtungen gleichzeitig in die Zylinderbohrung eingebracht werden. Auch die Laserbehandlung kann über mehrere Strahlköpfe gleichzeitig erfolgen.

Figur 2 zeigt eine erfindungsgemäß ausgebildete Lauflächenbehandlungsanlage in einem 4-Zylinder-Reihenmotor. Man erkennt den Zylinderblock 2 im Längsschnitt - also senkrecht zur Abbildungsebene nach Figur 1. Die Spannvorrichtung 1 ist auf einem Spanntisch 1a und einem Drehteller 1b angeordnet, der mit einem Antrieb 6 für die Bewegung der Transfereinheit entlang einer Transferachse 10 verbunden ist.

Die Pfeilrichtung 6a gibt an, in welche Richtung der Motorblock 2 bei der Behandlung gedreht wird. Hierbei ist es wichtig, daß die Pulverzuführungsvorrichtung 5 vor dem Laserkopf 4 positioniert ist, wie in Figur 2, Ausschnitt X, dargestellt.

Über eine Spindel 7 wird die Einfahrbewegung des Laserkopfes 4 in die Zylinderbohrung bewirkt. Die Achsparallelität zwischen Zylinderbohrungsachse und Drehachse 10 ist wichtig für die Einhaltung der Fertigungstoleranzen. Sie wird durch die Schlittenführungen 7a, 7b sichergestellt, auf denen die Laserbehandlungseinheit 3 über entsprechende Gegenführungen in den Zylinderblock 2 ein- und ausgefahren wird.

Die Ausschnittsvergrößerungen nach Figuren 3 - 5 zeigen noch einmal die Erwärmungszone 9/11, die Schmelzzone 12 und die Erstarrungszone 13 in vergrößerter Darstellung. Die flächenmäßige Ausdehnung der einzelnen Zonen, bzw. Bereiche, kann durch die Drehgeschwindigkeit des Zylinderblockes 2, der Bewegung der Transfereinheit entlang der Transferachse 10 und durch die Anzahl der Laserbehandlungseinrichtungen bzw. der Strahleinrichtungen sowie der Pulverzuführungsvorrichtungen beeinflusst werden.

Während in Figur 3 nur ein Brennfleck 8 für den einfachen Laserstrahlkopf 4 vorhanden ist, zeigt Figur 4 zwei Brennflecke 8a, 8b. Hierfür wird die Laserbehandlungseinheit mit zwei Strahleinrichtungen gemäß Anspruch 13 ausgestattet.

In Figur 5 ist eine Doppelspur mit zwei versetzten Brennflecken 8a, 8b und je zwei Schmelz- und Erstarrungsfronten 12, 13 dargestellt. Diese Variante erfordert eine Mehrfachpulverzuführung, wie sie im Anspruch 14 beschrieben und in Figur 6 dargestellt ist. Mit Bezugszeichen 9/11 ist die Pulverzuführung in der Vorwärmzone bezeichnet. Da man die Strahlköpfe 4.1 und 4.2 schwenken kann, sind die Schwenkwinkel mit  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  angegeben.

In Figur 7 ist das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten, zylindrischen oder teilzylindrischen Bauteiles schematisch dargestellt. Es besteht darin, daß zunächst ein Energiestrahls mit einer linienförmigen Strahlfläche (auch Linienfokus genannt) auf eine Werkstückoberfläche gerichtet wird. Dabei wird die Werkstückoberfläche aufgeschmolzen und ein Hartstoff- oder ein Legierungspulver in die aufgeschmolzene Oberfläche zugeführt.

Wie Figur 7 zeigt, bildet sich in der Auftreffzone des Energiestrahls ein lokal begrenztes Schmelzbad mit einer Erwärmungs- und Aufschmelzfront 20, einer Lösungszone bzw. Umschmelzzone 21 und eine Erstarrungsfront 22 aus.

Seitlich vom Energiestrahls 23 wird eine Pulvermenge 24 in Schwerkraftrichtung auf die Oberfläche des Bauteils 26 aufgebracht. Die Menge des Pulvers 24 wird mit der Vorschubbewegung 27 des Werkstücks oder Bauteils 26 koordiniert, wobei die Pulverstrahlbreite quer zur Bildebene von Figur 7 in etwa der Breite des Energiestrahls 23 entspricht (ebenfalls gemessen in Querrichtung zur Bildebene).

Man erkennt aus Figur 7, wie die auf der Werkstückoberfläche zugeführte Pulvermenge in der Erstarrungsfront aufgewärmt und dann spätestens im Energiestrahls 23 im Schmelzbad gelöst wird. Versuche haben ergeben, daß bei einer Wellenlänge von 780 bis 940 nm der Energiestrahls optimiert in die Metallmatrix einkoppelt, aber auch daß das Pulver optimiert und schnell aufgeheizt und im Kontakt mit der verflüssigten Matrixlegierung in der Schmelze gelöst wird.

Wie die Pfeile 28 in Figur 7 andeuten, tritt eine Konvektion in der Lösungszone auf, so daß der Homogenisierungsvorgang in der Schmelzzone beschleunigt wird. Dies wird ermöglicht durch den Energiestrahls mit einer spezifischen Leistung von mindestens  $10^4$  W/cm<sup>2</sup>. An Schliffbildern ist zu erkennen, daß das Hartstoff- oder

Legierungspulver im Schmelzbad nur dann gleichmäßig verteilt ist, wenn der Linienfokus ausreichend lange auf die Lösungszone eingewirkt hat. Die genauen Werte lassen sich im Versuch ermitteln.

Das gleichmäßig in der Schmelze gelöste Pulvermaterial wird dann in der Erstarrungszone 22 einer gerichteten Erstarrung mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit in der Erstarrungsfront von 200 bis 600 K/sec unterworfen, wobei die Vorschubgeschwindigkeit zwischen 500 und 10.000 mm/min beträgt. In einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Pulver im Gasstrom auf die Bauteiloberfläche befördert, so daß durch die kinetische Energie bereits eine bestimmte Pulvermenge in die Aufschmelzzone eindringen kann.

Weitere Versuche haben ergeben, daß der Energiestrahhl in bevorzugter Weise vor der Auftreffzone geteilt wird, wobei ein erster Teilstrahl in der Erwärmungs- und Aufschmelzzone und ein zweiter Teilstrahl hinter die Erstarrungsfront zur thermischen Gefügebehandlung gelenkt wird. Mit diesem Verfahren läßt sich die Gefügeausbildung gezielt steuern. Eine Vorrichtung zur Ausübung des Verfahrens ist in Figur 6 dargestellt.

Eine weitere Gefügesteuerung ist dadurch möglich, daß der Energiestrahhl in der Erstarrungsfront mit einer spezifischen Leistung von  $< 1 \text{ KW/mm}^2$  auf die Werkstückoberfläche gerichtet ist. Dabei hat sich herausgestellt, daß die Einwirkungszeit des Energiestrahls im Schmelzbad zur Lösung und homogenen Verteilung der Hartstoff- oder intermetallischen Phasen zwischen 0,01 und 1 Sekunde liegt.

Die genannten Anforderungen werden durch einen Diodenlaser von  $\geq 3 \text{ KW}$  erfüllt, der eine einstellbare Linienfokus-Breite aufweist. Hiermit kann vor Beginn und am Ende einer Beschichtung der Energiestrahhl in der Linienfokus-Breite quer zur Vorschub-

richtung reduziert werden. In analoger Weise ist auch die Pulvermenge steuerbar, so daß bei einer flächigen Behandlung nur geringe Überschneidungen der zugeführten Pulvermenge bzw. der eingestrahlten Energie festgestellt wurden.

Sofern das Werkstück als Hohlzylinder ausgebildet ist, sollte es bevorzugt in Wannenlage um den Energiestrahл rotieren, so daß der Energiestrahл, der in bezug auf die Rotationsrichtung ortsfest gehalten wird, eine kontinuierliche Vorschubrichtung während der Rotation in Richtung der Rotationsachse zur Erzeugung einer flächigen Einlegierungszone vollzieht. Dies kann den nachfolgend erläuterten Figuren 8 bis 11 entnommen werden, die einen Drehtisch 31, eine Spannvorrichtung 32, einen Motorblock 33 mit einer Zylinderbohrung 34 zeigen.

Über eine Vibrationsförderrinne 30 oder Schneckenförderer 38 wird Pulvermaterial aus einem Pulverspeicher 41 in die Zylinderbohrung 34 gefördert. Die vordeponierte Pulverlage 35 weist eine Höhe HP auf, wobei die Vibrationsförderrinne 30 in einem Abstand HA oberhalb des in Wannenlage liegenden Zylinders angeordnet ist. In der Vibrationsförderrinne 30 wird die Höhe des Pulvers HF erreicht.

Die Vibrationsförderrinne 30 weist eine Vibrationsanregung 40 mit der Frequenz  $f$  auf. Ferner ist an der Vibrationsförderrinne 30 ein Kopelement 42 für die Erzeugung der Vibrationen angebracht.

Über einen Diodenlaser 43 und eine Laseroptik 44 wird der Energiestrahл umgelenkt und fokussiert und auf die Zylinderbohrung geleitet. Vibrationsförderrinne 30 und Diodenlaser 43 sind auf einer Montageplatte 46 befestigt, die auf einem Vorschubschlitten 45 ruht. Der Vorschubschlitten 45 kann über einen Linearantrieb in die Zylinderbohrung 34 ein- und ausgefahren werden. Dies ist mit dem Doppelpfeil in Figur 8 angedeutet.

Gemäß Figur 9 ist der Durchmesser 47 der Laseroptik so bemessen, daß in der Zylinderbohrung 34 noch Platz für die Förderrinne 30 bleibt. Da der Zylinder in Wannenlage bearbeitet wird, tritt der Laserstrahl nach unten aus der Laseroptik 44 aus, wobei sich eine Spurbreite 50 des Laserstrahls auf der Zylinderwand abzeichnet. Neben der Laserspür wird das Pulver vordeponiert in einer Spurbreite 49. Mit 48 ist der Bohrungsdurchmesser des Zylinders bezeichnet.

Zur Durchführung des Verfahrens wurden Vorrichtungen entwickelt, die für großtechnische Bearbeitungen von Werkstücken und Bauteilen geeignet sind. Dazu besteht die Vorrichtung gemäß Figur 8 aus einer Spannvorrichtung 32, auf der ein Motorblock 33 über Indexbohrungen und/oder über Bearbeitungsflächen ausgerichtet und eingespannt wird. Auf die Bearbeitungsflächen werden in Zylinderachsrichtung Energiestrahleinrichtungen eingefahren und mit einem fokussierbaren Strahlkopf und einer Pulverzuführung auf die Bearbeitungsfläche gerichtet. Es hat sich als besonders günstig erwiesen, daß der Energiestrahle in das Werkstück einfahrbar ist, das auf einem Drehtisch 31 mit einer Spannvorrichtung 32 angeordnet ist, wobei der Energiestrahle als Linienfokus aus einer Diodenlaseroptik 44 senkrecht auf das in Wannenlage rotierende Werkstück, z.B. einem Motorblock 33, gerichtet ist.

Wenn mehrere Energiestrahleinheiten versetzt zueinander auf die Bearbeitungsfläche des in Wannenlage rotierenden Werkstücks gerichtet sind, sollte die Energiestrahleinheit die Bearbeitungsfläche zeilenförmig überstreichen. Dabei ergibt sich eine flächige Einlegierungszone, die je nach Begrenzungseinrichtung der Vorrichtung und/oder Drehbewegung des Bauteiles dimensioniert werden kann.

Vorteilhafterweise überstreichen die Energiestrahleinheiten mehrere Zeilen der Bearbeitungsfläche gleichzeitig. Dadurch werden die Bearbeitungszeiten verkürzt und die behandelten Oberflächen gleichmäßigen sich.



Eine Alternative zu der in Figuren 1 bis 6 dargestellten Pulverzuführung über eine oder mehrere Düsen wird nachfolgend erläutert. Dabei handelt es sich um eine Pulverzufuhr mittels Förderschnecke oder Vibrationseinrichtung, die sich insbesondere bei hohen Temperaturen und in engen Zylinderbohrungen bewährt hat.

Die Wärmeabstrahlung bei hohen Laserleistungen ist sehr intensiv, so daß übliche Düsenmaterialien, die in die Nähe der Laserauftreffzone angeordnet sind, den hohen Temperaturen nicht standhalten oder erodieren. Darüberhinaus steht das über die Düse abgestrahlte Pulver unter hohem Druck und hat eine starke Auswirkung auf die Gasströmung innerhalb der zu bearbeitenden Zylinderbohrung. Mit der Gasströmung verändert sich das Temperaturniveau und die Dichte des Schutzgases, so daß die Effektivität des Lasers starken Schwankungen ausgesetzt ist.

Mit einer Vibrationsförderrinne 30 lassen sich diese Bedingungen wesentlich besser steuern. Das Temperaturniveau und die Schutzgasatmosphäre wird bei der Pulverzuführung über eine Förderschnecke oder Förderrinne nicht beeinträchtigt. Es können hochfeste und temperaturbeständige Materialien für die Förderrinne benutzt werden, so daß auch eine langfristige Temperatureinwirkung keinerlei Ermüdungserscheinungen oder Erosionseffekte auslöst.

Die Bearbeitung der Zylinderbohrung 34 in Wannenlage ist mit einer Zuführung des Pulvers über eine Schwingrinne besonders effektiv, wenn dies mit einer gemäß Anspruch 1 b) vordeponierten Pulverlage HP erfolgt.

Selbstverständlich lassen sich auch andere Fördereinrichtungen wie z.B. Förderschnecken, Förderbänder oder dergleichen verwenden.

Diese haben gegenüber der Pulverförderung in einer Düse den Vorteil, daß eine Spur mit der Breite der Laserfokusbreite und

eine Höhe bzw. Schichtdicke zwischen 0,3 - 3 mm genau einstellbar ist.

Um die Dosierung des Pulvers genau steuern zu können, werden vorteilhafter Weise mechanische Abstreifer oder Bürsten im Bereich der Auftragszone angeordnet. Damit läßt sich die Materialmenge in der Breite und Höhe beliebig steuern. Vorzugsweise ist die Schichtdicke des aufgeschütteten Pulvers im Bereich von 0,3 bis 3 mm zu halten, wobei für eine hohe Schichtdicke eine höhere Energiedichte des Lasers benötigt wird.

Ein wesentlicher Faktor für die Einkopplung der Laserenergie in das Pulvermaterial ist das Kornspektrum und die Kristallform des verwendeten Pulvers.

Zur Durchführung im großtechnischen Maßstab wurde ein Diodenlaser 43 mit einer Laseroptik 44 entwickelt, die bezogen auf die Drehrichtung des Bauteils ortsfest innerhalb der drehbaren, mit einer Antriebseinheit verbundenen Spannvorrichtung 32 angeordnet sind. Der Diodenlaser mit Optik wird mittels eines Vorschubschlittens 45 zusammen mit der Pulverzuführungseinrichtung, die seitlich neben dem Energiestrahle angeordnet ist, in die Zylinderbohrung 34 gefahren. Es ist auch möglich, das Pulver auf die dem Strahl zugewandten Oberflächen zu deponieren. Dies erfolgt gemäß Figur 8 durch eine Förderrinne 30, mit der das Pulver in Schwerkraftrichtung lose aufgerieselt wird. Es entsteht eine vordeponierte Pulverlage 35, wobei die Austrittshöhe HA der Förderrinne in Figur 9 angegeben ist.

Für die Herstellung von wendelförmigen oder anderen geometrischen Führungen des Linienfokusses sollte die Antriebseinheit für den Drehtisch 31 eine variable Drehzahl ermöglichen. Dabei kann der Vorschubschlitten 45 des Diodenlasers 43 und der Pulverzuführung in Rotationsachsrichtung mit der Drehgeschwindigkeit des Motorblocks 33 kombiniert werden.

In den Figuren 10 und 11 bewirkt die Vibrationsförderrinne 30 bzw. Schneckenförderer 38 eine Pulverhöhe HP, wobei der Abstand zur Fördereinrichtung mit HA bezeichnet ist. Die Zylinderbohrung 34 nimmt die Laseroptik 44 mit Bohrungsdurchmesser 48 auf und beide werden auf einem Vorschubschlitten 45 in Pfeilrichtung bewegt.

Mit dem beschriebenen Verfahren sind oberflächenlegierte, zylindrische oder teilzylindrische besonders Hohlzylinder-Bauteile herstellbar. Sie bestehen aus einer Aluminiummatrixgußlegierung und einer bis an die Bauteiloberfläche reichenden Ausscheidungszone aus einer Aluminium-Basislegierung mit ausgeschiedenen Hartphasen. Zwischen Matrix und Ausscheidungszone liegt eine durch primäre Hartphasen übersättigte, eutektische Zone (Übersättigungszone) vor, wobei der Härteanstieg von der Matrix bis zur Bauteiloberfläche stufenweise erfolgt. Besonders günstige Verhältnisse lassen sich erreichen, wenn die Matrixlegierung vom Typ AlSiCu oder AlSiMg untereutektisch ist und in der übersättigten, eutektischen Übergangszone eine Legierung vom Typ AlSi mit fein ausgeschiedenen Primärsiliziumphasen kleiner  $1\text{ }\mu\text{m}$  vorliegt, während in der Ausscheidungszone Primärsiliziumphasen von 2 bis  $20\text{ }\mu\text{m}$  vorliegen. Dann lassen sich Härteanstiege bis zur Bauteiloberfläche von über 200 % erreichen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten zylindrischen, teilzylindrischen oder hohlzylindrischen Bauteiles, wobei ein Energiestrahл mit einer linienförmigen Strahlfläche, im folgenden Linienfokus genannt, auf eine Werkstückoberfläche gerichtet, dadurch die Werkstückoberfläche aufgeschmolzen und ein Hartstoffpulver in die aufgeschmolzene Oberfläche zugeführt wird,

dadurch gekennzeichnet

daß

- a) in der Auftreffzone des Energiestrahls ein lokal begrenztes Schmelzbad mit einer Erwärmungs- und Aufschmelzfront, einer Lösungszone und einer Erstarrungsfront erzeugt wird,
- b) seitlich vor dem Energiestrahл das Hartstoffpulver über eine Fördereinrichtung in Schwerkraftrichtung aufgebracht und mit der Vorschubbewegung des Werkstücks koordiniert in einer Breite zugeführt wird, die der Breite des Linienfokus entspricht und dabei eine Schichthöhe von 0,3 - 3 mm erzeugt wird,
- c) die auf der Werkstückoberfläche zugeführte Hartstoffpulvermenge in der Erwärmungsfront des Schmelzbades mit einem Energiestrahл mit einer Wellenlänge von 780 - 940 nm aufgeheizt und im Kontakt mit der verflüssigten Matrixlegierung die Pulvermenge sofort in das Schmelzbad eingelöst wird,

- d) durch den Energiestrahle mit einer spezifischen Leistung von mindestens  $10^4$  W/cm<sup>2</sup> eine Konvektion in der Lösungszone erzeugt wird, so daß der Homogenisierungsvorgang in der Schmelzzone beschleunigt wird,
- e) wobei der Linienfokus solange auf die Lösungszone einwirkt, bis das Hartstoffpulver im Schmelzbad gleichmäßig verteilt ist,
- f) das vor dem Energiestrahle gleichmäßig verteilte Pulvermaterial, welches in der Lösungszone metallurgisch in Lösung gegangen ist, einer gerichteten Erstarrung in der Erstarrungsfront mit hoher Abkühlungsgeschwindigkeit von 200 - 600 K/sec unterworfen wird bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 500 - 10.000 mm/min.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

daß das Hartstoffpulver in den Verfahrensschritten b) - f) ein Siliziumpulver mit einem Korndurchmesser von 40 - 90 µm ist.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß der Energiestrahle vor der Auftreffzone geteilt wird, wobei ein erster Teilstrahl in die Erwärmungszone und Aufschmelzzone und ein zweiter Teilstrahl hinter die Erstarrungsfront zur thermischen Gefügebehandlung gelenkt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet,

daß der zweite Teilstrahl hinter der Erstarrungsfront zur Steuerung des Ausscheidungsgefüges mit einer spezifischen

Leistung von  $< 1 \text{ KW/mm}^2$  auf die Werkstückoberfläche gerichtet ist.

5. Verfahren nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Einwirkungszeit des Energiestrahls im Schmelzbad zur Lösung und homogenen Verteilung von primär ausgeschiedenen Si-Phasen zwischen 0,01 und 1 Sekunde beträgt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß zur Formung des Energiestrahls ein Diodenlaser von  $\geq 3 \text{ KW}$  mit veränderbarer Optik zur Einstellung der Linienfokusbreite von 4 - 15 mm verwendet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß vor Beginn und am Ende einer Beschichtung der Energiestrahls und die Pulvermenge in der Linienfokus-Breite quer zur Vorschubrichtung reduziert wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß das Werkstück als Hohlzylinder ausgebildet ist und während der Beschichtung in Wannenlage um den Energiestrahls rotiert, wobei der Energiestrahls, der in bezug auf die Rotationsrichtung ortsfest gehalten wird, eine kontinuier-

liche Vorschubbewegung während der Rotation in Richtung der Rotationsachse zur Erzeugung einer flächigen Einlegierungszone vollzieht.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
  
daß am Beginn des Einlegierens der Energiestrahahl punktförmig ausgebildet ist und sich zusammen mit der Pulvermenge kontinuierlich vergrößert, bis er nach einer Umdrehung des Werkstücks die volle Linienfokus-Breite erreicht hat.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
  
daß bei Beendigung der Einlegierung während des letzten Umlaufs des Werkstücks die Linienfokus-Breite und die Pulvermenge kontinuierlich auf Null reduziert werden.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
  
daß ein Hohlzylinder aus Al- oder Mg-Legierungen mit einem Bohrungsdurchmesser von 60 - 120 mm in einer Tiefe bis zu 200 mm behandelt wird.
12. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, bestehend aus einer Werkstückspannvorrichtung (1), auf der ein Werkstück über Indexbohrungen und/oder über Bearbeitungsflächen ausgerichtet und eingespannt wird, auf dessen Oberfläche eine Pulverzuführung (5) und ein fokussierbarer Strahl aus einem Strahlkopf (4) gerichtet ist,

gekennzeichnet durch eine in eine Zylinderachse eingefahrene Energiestahl- und Pulverzufuhreinrichtung, wobei der Energiestahl als Linienfokus in einem Winkel  $\pm \alpha = 0 - 45^\circ$  zum Schwerkraftvektor auf das in Wannenlage rotierende Werkstück gerichtet ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12,

dadurch gekennzeichnet,

daß mehrere Energiestrahleinheiten versetzt zueinander auf die Bearbeitungsfläche des in Wannenlage rotierenden Werkstücks gerichtet sind, wobei die Energiestrahleinheiten (8b, 8a) die Bearbeitungsfläche hintereinander und spurgleich zeilenförmig überstreichen.

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Energiestrahleinheiten nebeneinander mehrere Zeilen der Bearbeitungsfläche ggf. mit mehreren Pulverzufuhreinrichtungen gleichzeitig überstreichen.

15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Energiestrahleinrichtung bezogen auf die Drehrichtung ortsfest innerhalb der drehbaren, mit einer Antriebseinheit verbundenen Werkstückspannvorrichtung angeordnet ist, wobei der Energiestahl aus dem Energiestrahlkopf auf die Werkstückoberfläche gerichtet ist,

daß die Pulverzuführungseinrichtung seitlich neben der Energiestrahleinrichtung angeordnet ist.



16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß das Pulver auf die dem Strahl zugewandte Oberfläche entweder entgegen der Vorschubrichtung durch den Strahl in die Aufschmelzzone geblasen oder in Schwerkraftrichtung lose vor oder in die Aufschmelzzone vor dem Energiestrahle aufgerieselt wird.

17. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

) dadurch gekennzeichnet,

daß die Antriebseinheit für das Werkstück eine variable Drehzahl ermöglicht, wobei die Vorschubrichtung der Energiestrahlvorrichtung und der Pulverzufuhr in Rotationsachsenrichtung mit der Drehgeschwindigkeit des Werkstückes kombiniert wird, um wendelförmige oder andere geometrische Führungen des Linienfokus auf der Werkstückoberfläche zu erreichen.

18. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere für Motorblöcke, bestehend aus einer drehbaren Spannvorrichtung (1) für einen Zylinderblock (2), einer Laserbehandlungseinheit (3) mit einem Strahlkopf (4), die mit einer Pulverzuführungsvorrichtung (5) verbunden ist, und einer Transfereinheit, die den Zylinderblock (2) vor der Laserbehandlungseinheit (3) positioniert und einem Antrieb (6) für die Bewegung der Transfereinheit entlang einer Transferachse (10),

) dadurch gekennzeichnet,

daß die Aufspannebene der Spannvorrichtung (1) senkrecht zur Strahlrichtung der Lasereinheit (3) ausgerichtet ist,

daß die Lasereinheit (3) senkrecht zur Aufspannebene der Spannvorrichtung (1) verschiebbar ist, wobei die Strahlrichtung senkrecht zur Transferachse (10) in einem Winkel  $\pm \alpha = 0$  bis  $45^\circ$  zum Schwerkraftvektor ausgerichtet ist,

daß die Pulverzugabe (5) entweder direkt in Strahlrichtung der Lasereinheit (3) oder (in Vorschubrichtung gesehen) kurz vor der Strahlauftreffzone (12) mündet.

19. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß eine Laserbehandlungseinheit (3) aus mehreren Strahleinrichtungen besteht, die in eine Zylinderbohrung einfahrbar sind, wobei mehrere Bearbeitungszonen auf der Zylinderwand hintereinander (in Zylinderachsrichtung gesehen) angeordnet sind.

20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

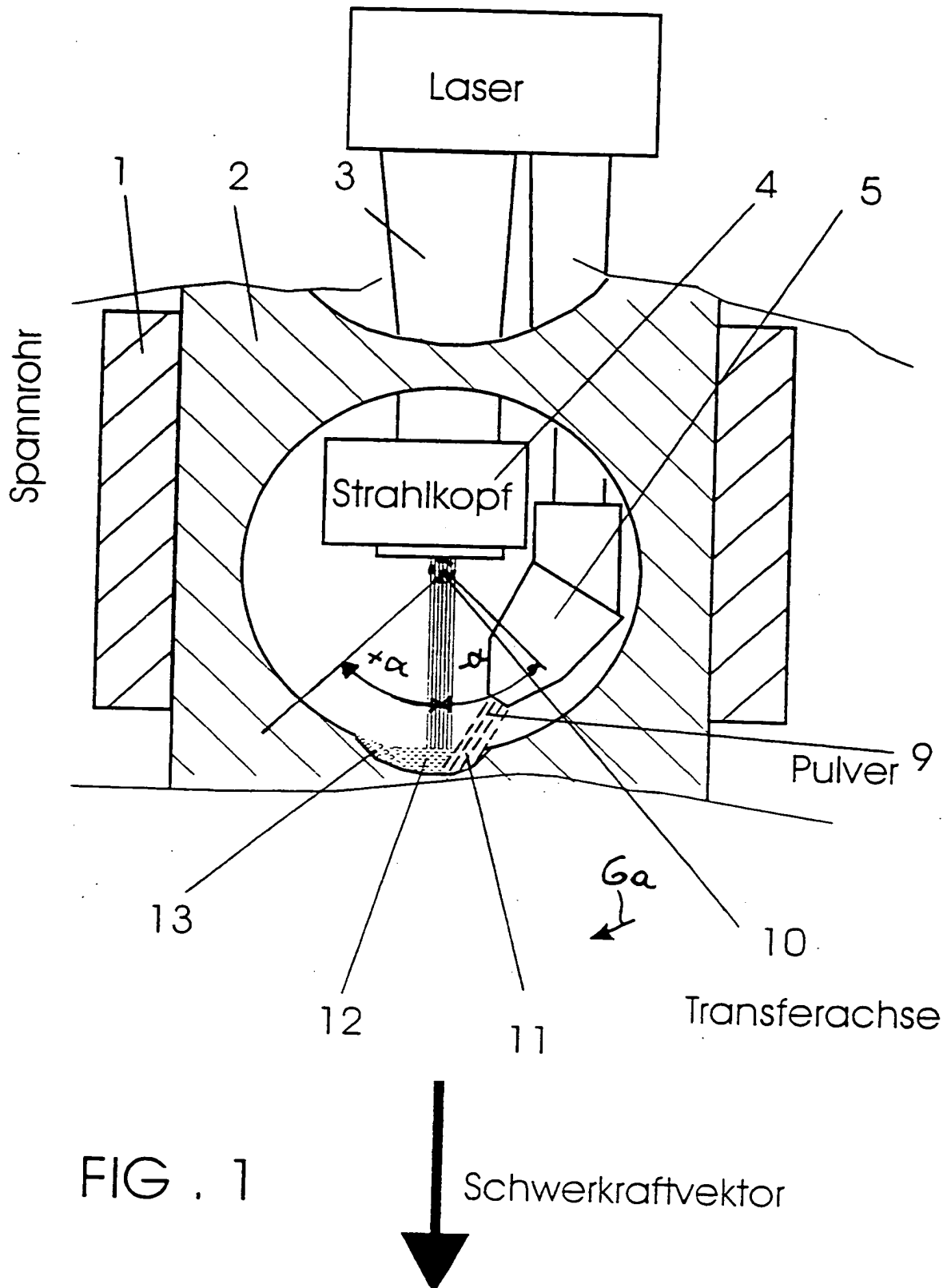
daß die Pulverzuführungseinrichtung (5) aus mehreren Zugabeeinrichtungen besteht, die in eine Zylinderbohrung einfahrbar sind, wobei die Zugabeöffnungen hintereinander (in Zylinderachsrichtung gesehen) angeordnet sind.

21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

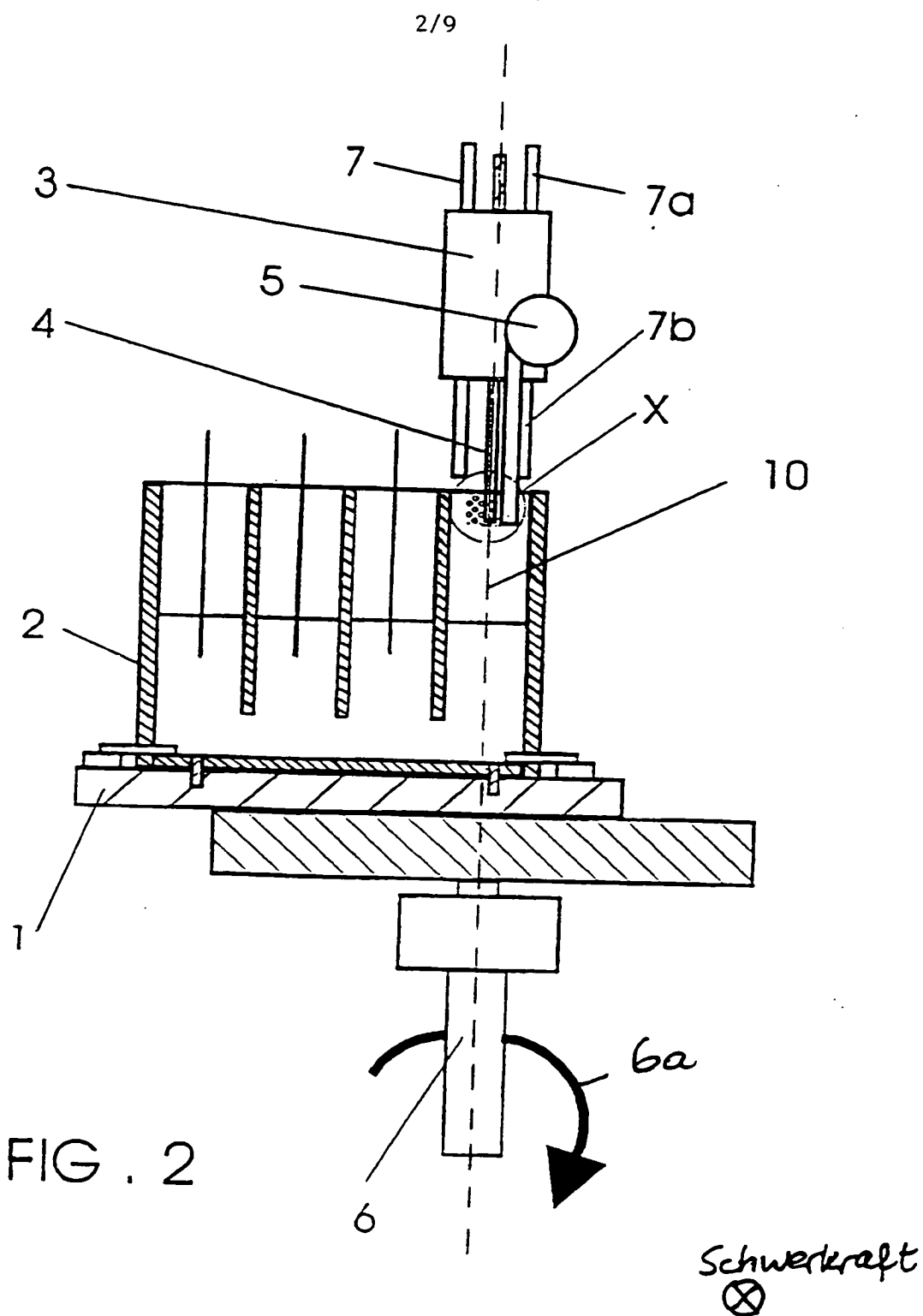
dadurch gekennzeichnet,

daß die Pulverzuführungseinrichtung aus einer Förderschnecke, einem Förderband oder einer Vibrationsförderrinne besteht.

1/9









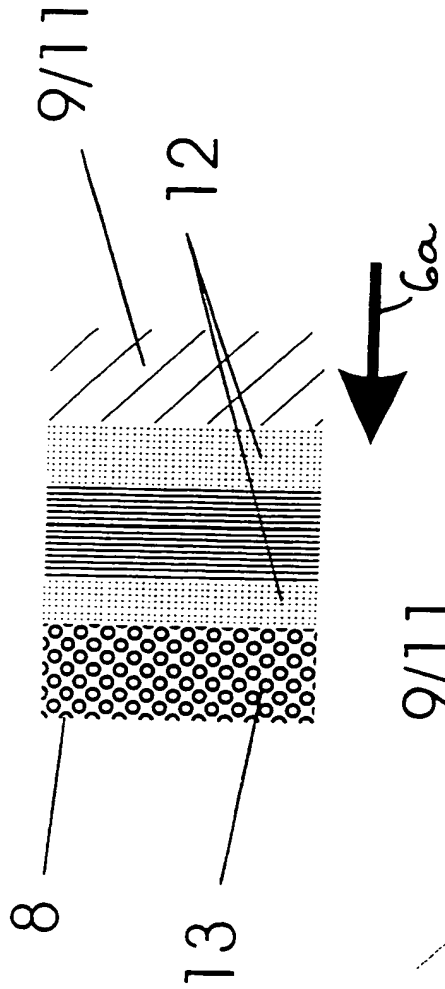


Fig. 3

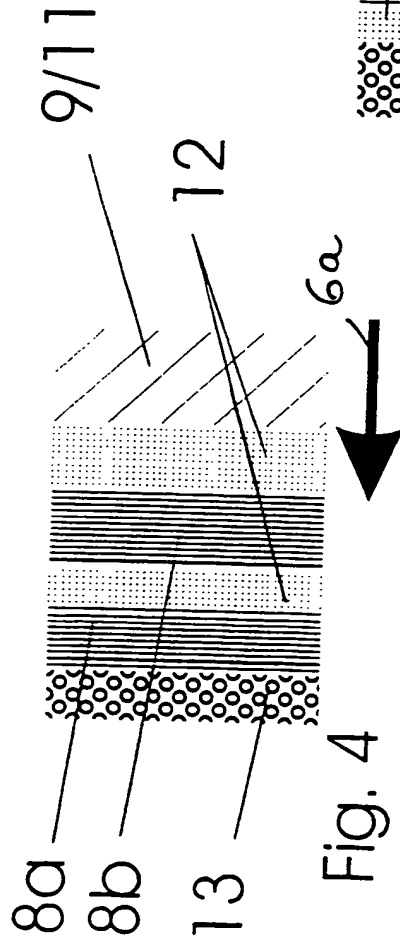


Fig. 4

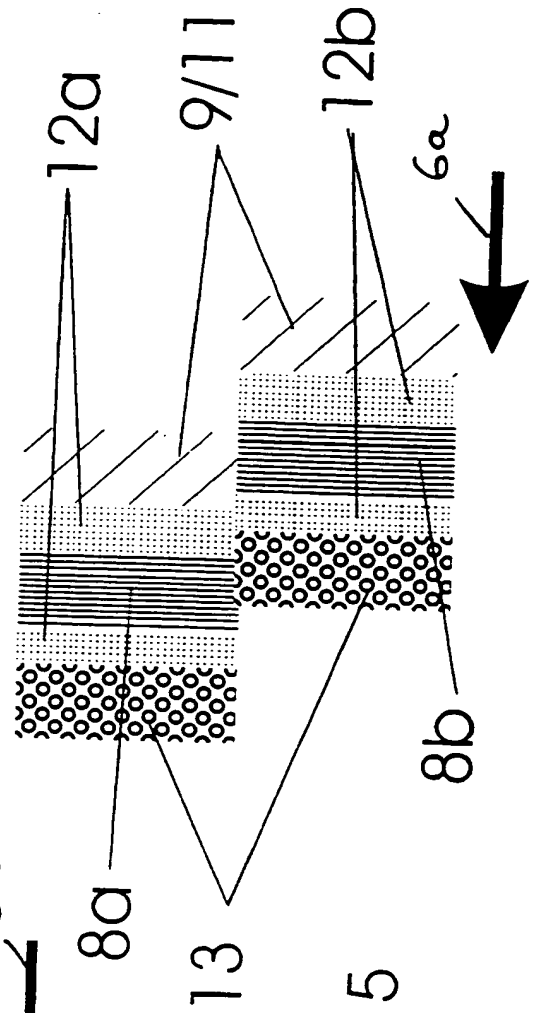


Fig. 5





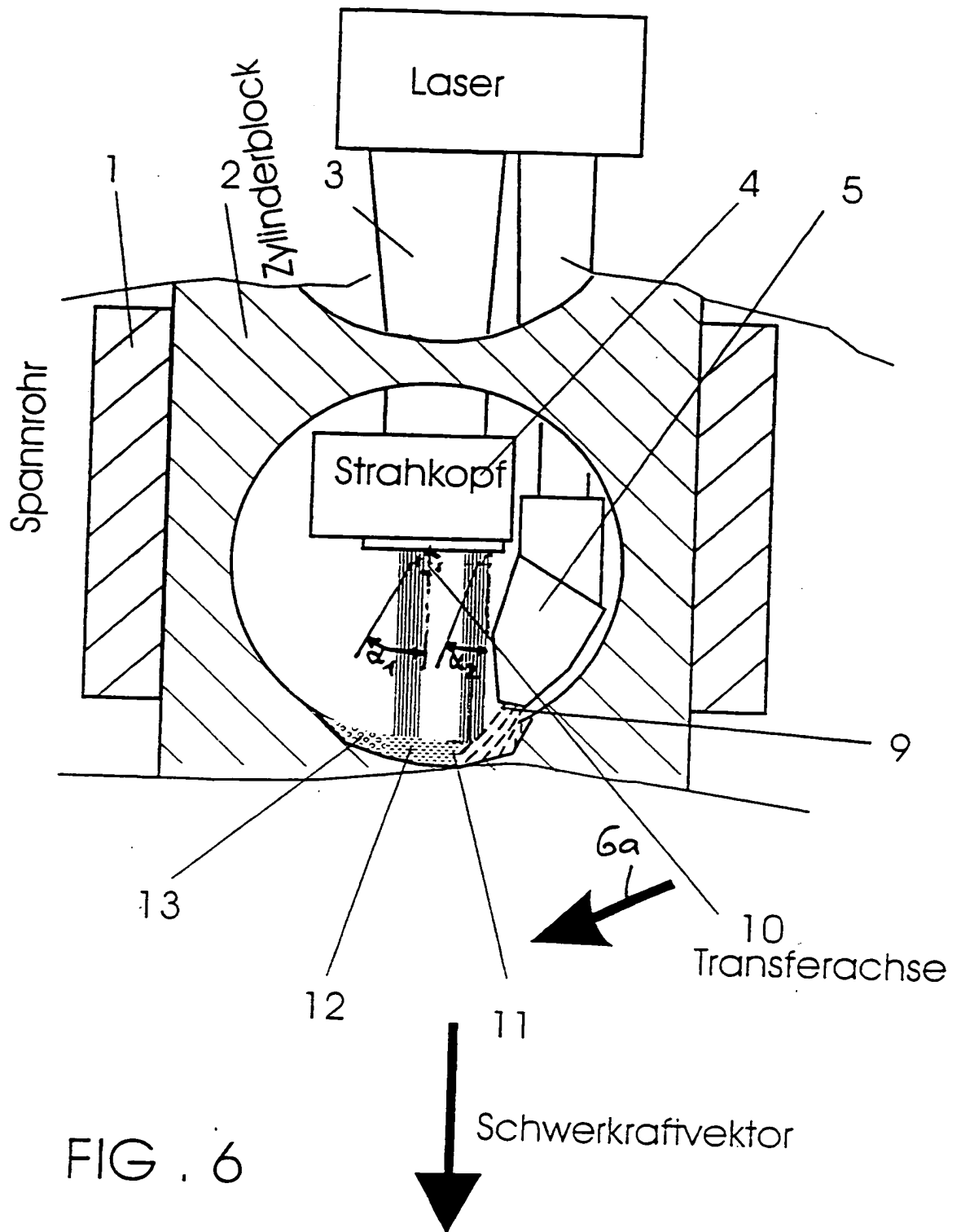
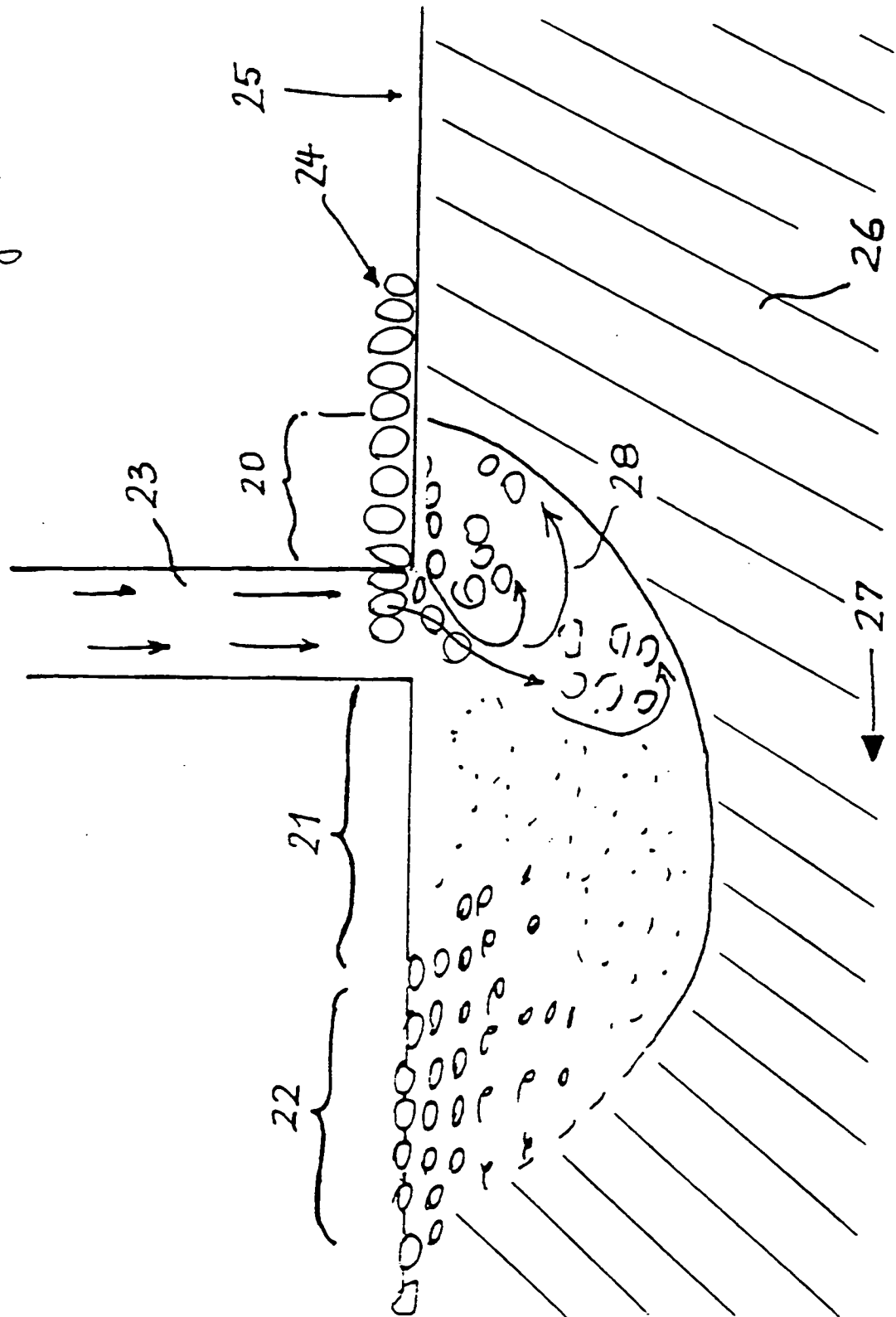


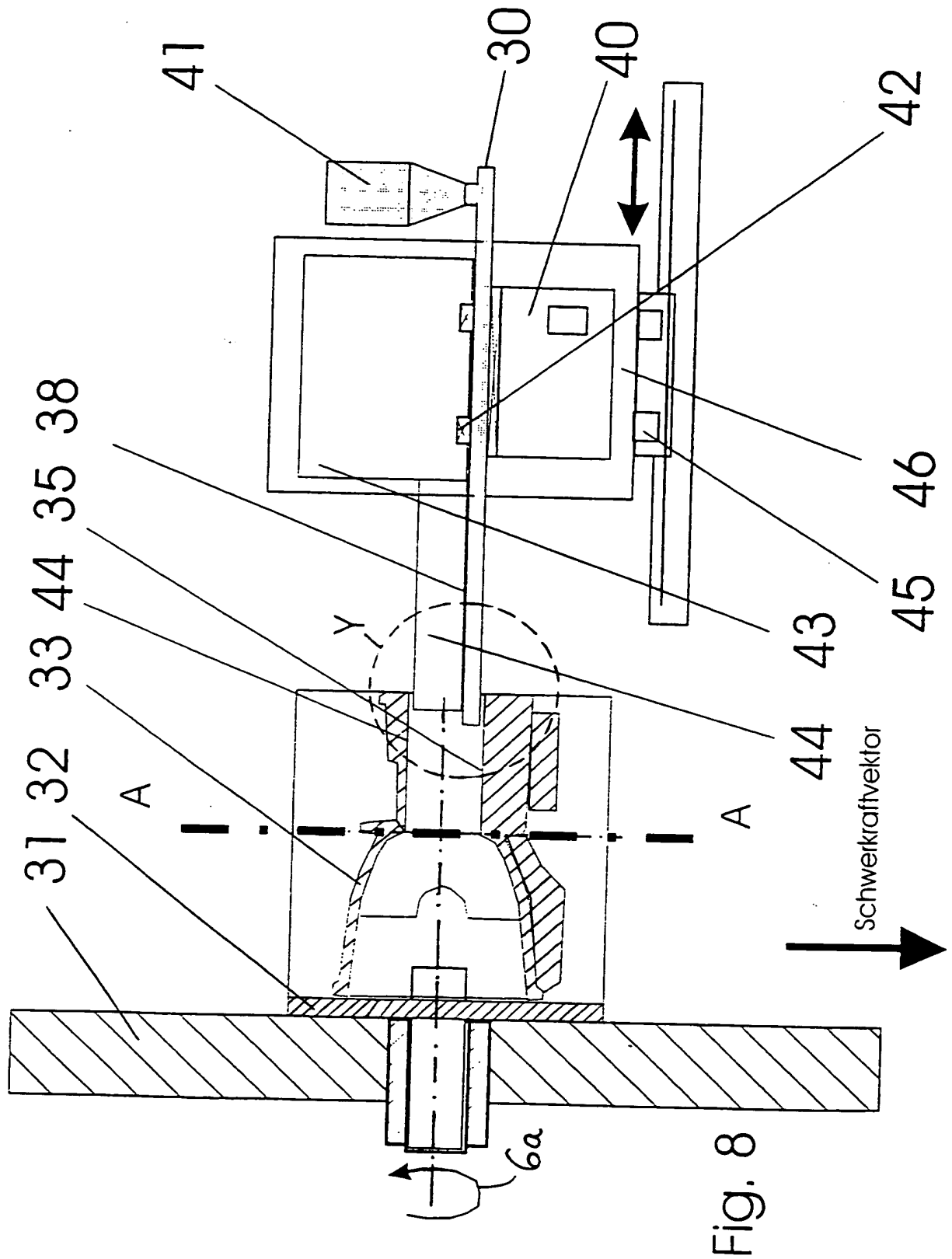
FIG. 6



Fig 7









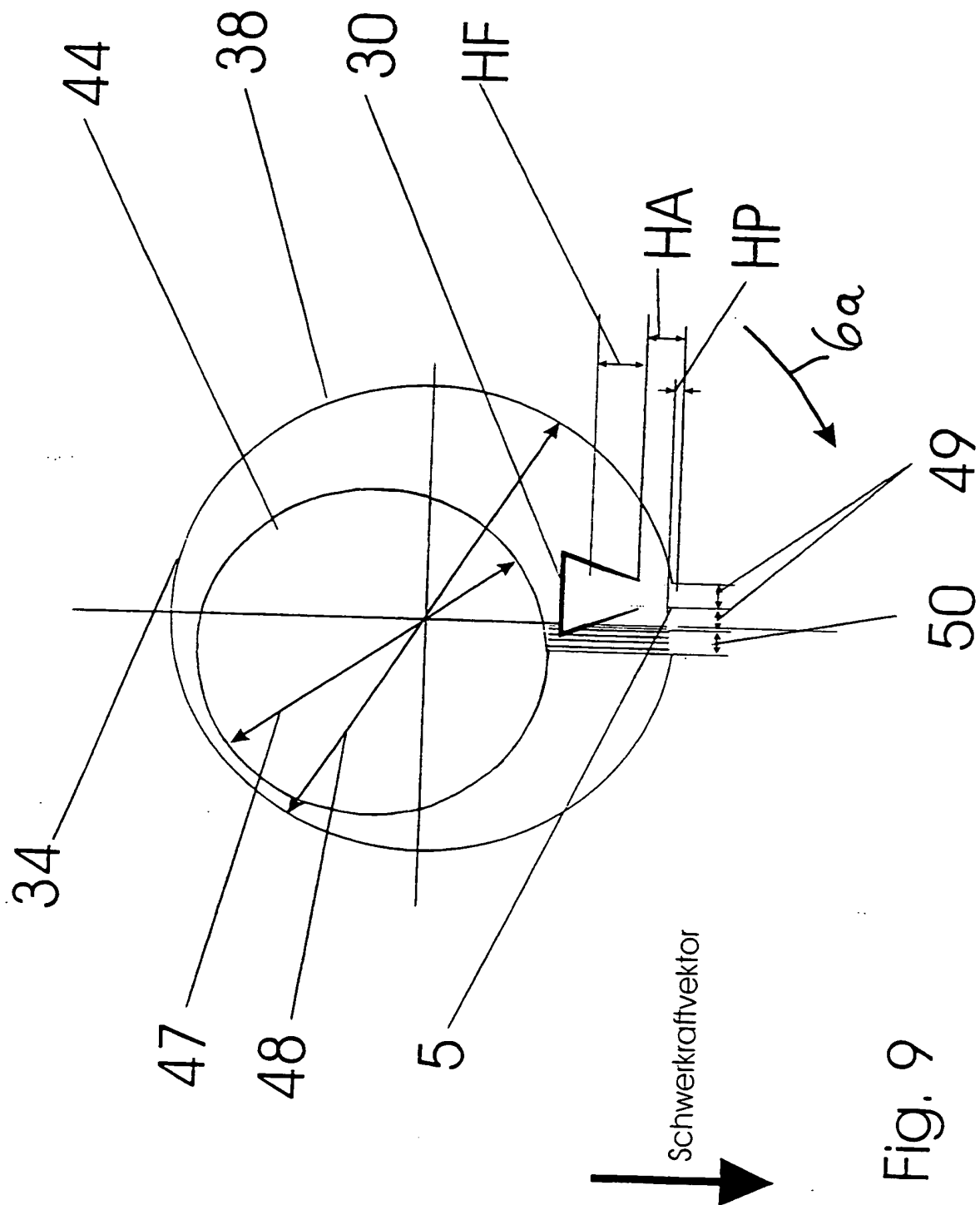


Fig. 9



)

)



8/9

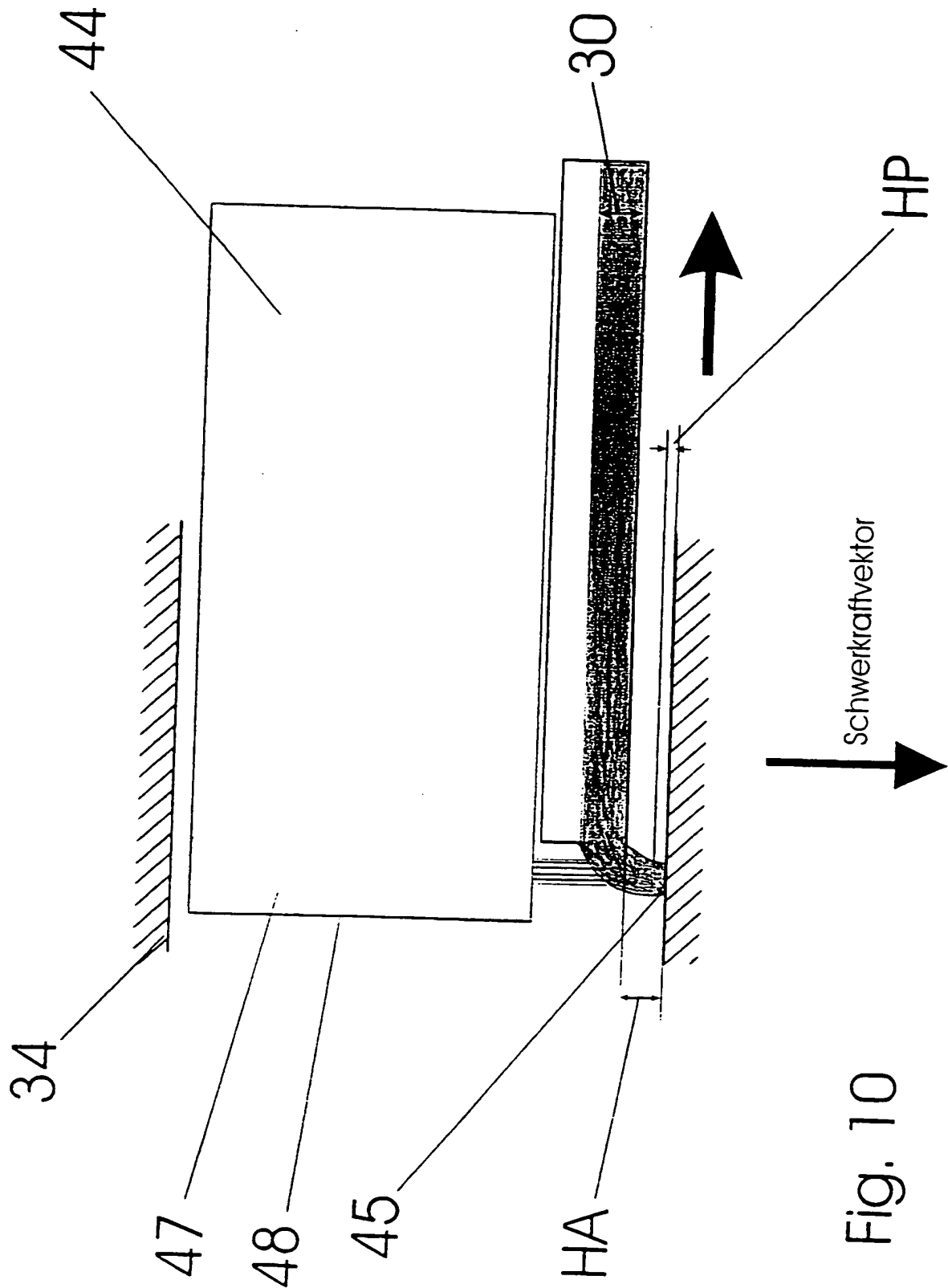


Fig. 10



9/9

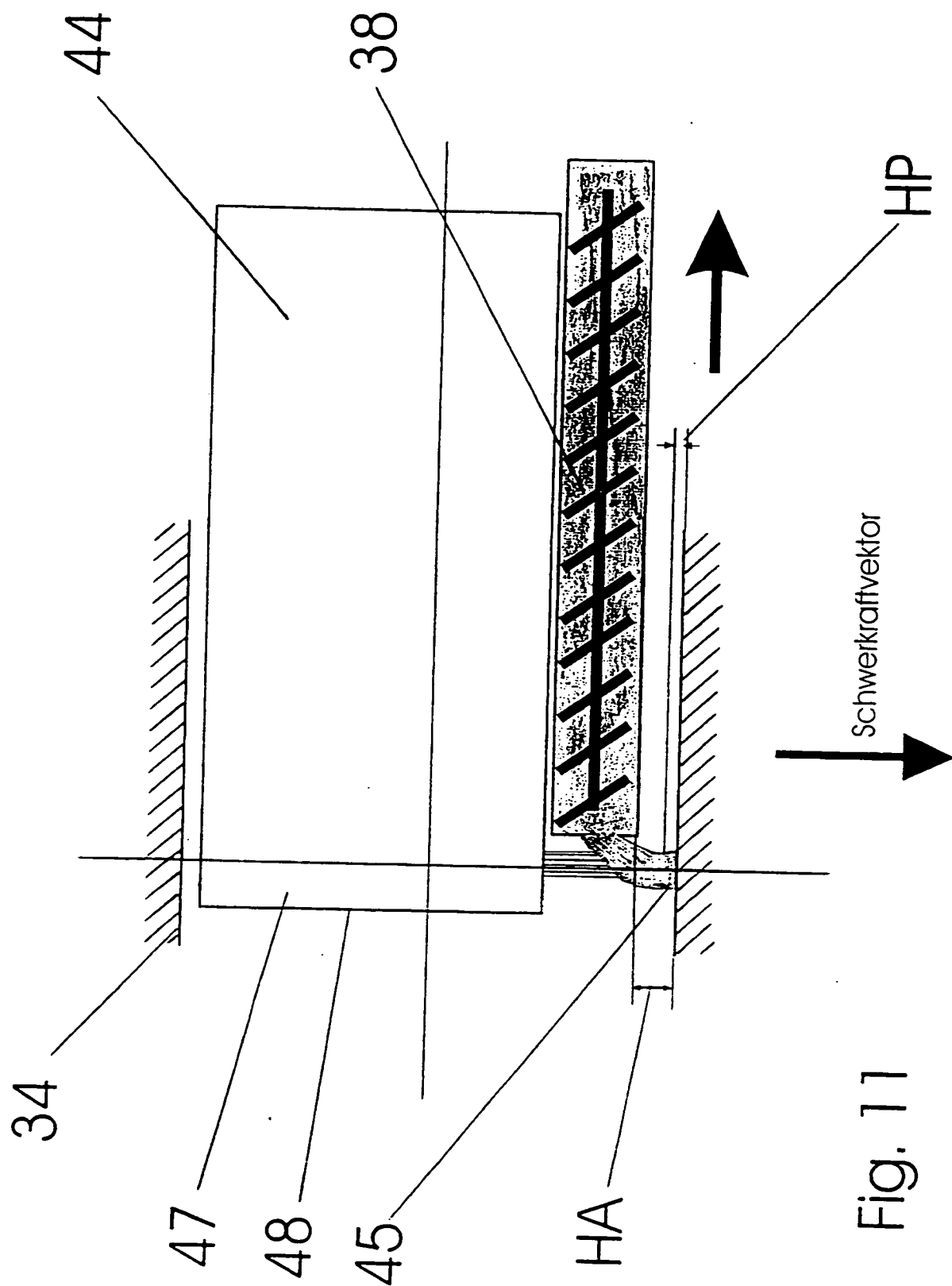


Fig. 11



(12) NACH DEM VEREINBAR ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
7. September 2001 (07.09.2001)

PCT

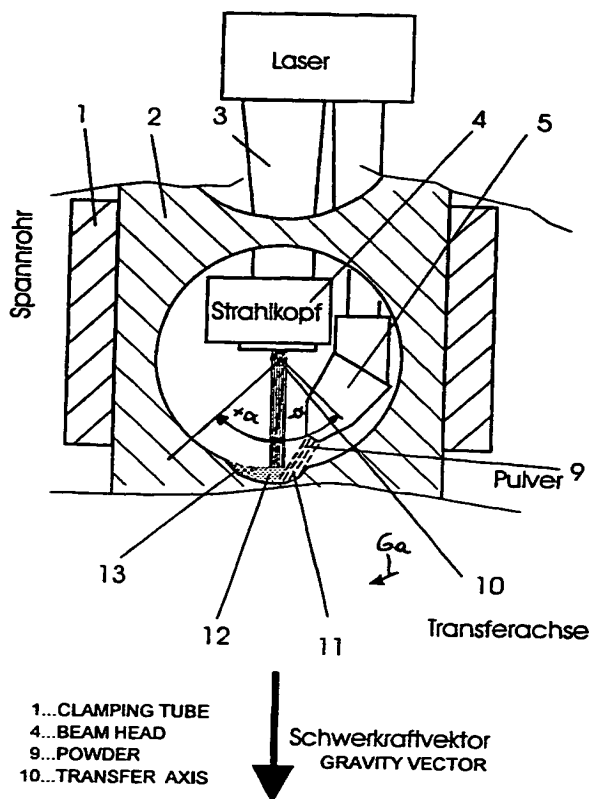
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 01/64385 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **B23K 26/34** (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): VAW ALUMINIUM AG [DE/DE]; Georg-von-Boeselager-Str. 25, 53117 Bonn (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/01932
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
21. Februar 2001 (21.02.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
200 03 515.0 28. Februar 2000 (28.02.2000) DE  
100 09 250.0 28. Februar 2000 (28.02.2000) DE
- (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FISCHER, Alexander [DE/DE]; Karlstr. 7, 53913 Swisttal (DE). KAHN, Joachim [DE/DE]; Mühlbachstr. 2, 35630 Ehringshausen (DE). FEIKUS, Franz, Josef [DE/DE]; Clara-Viebig-Str. 17, 53123 Bonn (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): AU, BR, CA, CZ, HU, IN, JP, KR, MX, PL, RU, US, ZA.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A SURFACE-ALLOYED CYLINDRICAL, PARTIALLY CYLINDRICAL OR HOLLOW CYLINDRICAL COMPONENT AND A DEVICE FOR CARRYING OUT SAID METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES OBERFLÄCHENLEGIERTEN ZYLINDRISCHEN, TEILZYLINDRISCHEN ODER HOHLZYLINDRISCHEN BAUTEILS UND VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a surface-alloyed cylindrical, partially cylindrical or hollow cylindrical component. A locally defined melting bath having a warming-up and a melting-on front (20), a dissolving zone (21) and a solidification front (22) is produced in the impact zone of the energy beam. The invention also relates to a device for carrying out said method. The inventive device consists of a clamping device (1) for workpieces. A workpiece is oriented and clamped on said clamping device by means of index bores and/or treatment surfaces. A powder supply device (5) and a beam emanating from a beam head (4) is oriented towards the surface of said workpiece, whereby said beam can be focussed.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten zylindrischen, teilzylindrischen oder hohlzylindrischen Bauteiles, wobei in der Auftreffzone des Energiestrahls ein lokal begrenztes Schmelzbad mit einer Erwärmungs- und Aufschmelzfront (20), einer Lösungszone (21) und einer Erstarrungsfront (22) erzeugt wird. Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, bestehend aus einer Werkstückspannvorrichtung (1), auf der ein Werkstück über Indexbohrungen und/oder über Bearbeitungsflächen ausgerichtet und eingespannt wird, auf dessen Oberfläche eine Pulverzuführung (5) und ein fokussierbarer Strahl aus einem Strahlkopf (4) gerichtet ist.

WO 01/64385 A1



(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

---

Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten zylindrischen, teilzylindrischen oder hohlzylindrischen Bauteils und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

---

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten zylindrischen, teilzylindrischen oder hohlzylindrischen Bauteiles, wobei ein Energiestrahл mit einer linienförmigen Strahlfläche, im folgenden Linienfokus genannt, auf eine Werkstückoberfläche gerichtet, dadurch die Werkstückoberfläche aufgeschmolzen und ein Hartstoff- oder ein Legierungspulver in die aufgeschmolzene Oberfläche zugeführt wird, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Aus der WO 97/10067 ist ein Verfahren zur Beschichtung metallischer Werkstücke bekannt, bei dem metallhaltiges Pulver mit einem Laserstrahl aufgeschmolzen und dann auf die Oberfläche des metallischen Werkstücks aufgetragen wird. Gemäß Patentanspruch 1 der WO-Schrift soll das Pulver coaxial zu dem Laserstrahl in den Schmelzbereich geführt werden und in Form von 0,1 bis 1 mm breiten Spuren über eine größere Fläche verteilt werden.

Zur Durchführung des bekannten Verfahrens ist gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der WO 97/10067 eine Vorrichtung zur Pulverzuführung coaxial an einem Laserstrahl-Fokussierkopf relativ zueinander in dreiachsiger Richtung verfahrbar sind. Die Verfahrbarkeit ist jedoch wegen der erforderlichen Regeltechnik nur eingeschränkt möglich.

Für eine großtechnisch einsetzbare Beschichtungsanlage sind Spurbreiten von 0,1 bis 1 mm unwirtschaftlich und dreiachsig bewegliche Vorrichtungen zu aufwendig. Außerdem können mit der be-

kannten Vorrichtung nicht unmittelbar größere Flächen, wie z.B. Innenlaufflächen von Zylinderwandungen, beschichtet werden.

Zur Durchführung einer Beschichtung auf Innenlaufflächen sind Laufflächenbehandlungsanlagen bekannt, bestehend aus einer drehbaren Spannvorrichtung für einen Zylinderblock, einer Laserbehandlungseinheit mit einem Strahlkopf, die mit einer Pulverzuführungsvorrichtung verbunden ist, und einer Transfereinheit, die den Zylinderblock vor der Laserbehandlungseinheit positioniert und einem Antrieb für die Bewegung der Transfereinheit entlang einer Transferachse.

Für derartige Laufflächenbehandlungsanlagen bestehen hohe Anforderungen an die Präzision hinsichtlich der Ausrichtung der Anlagenteile und deren Verschleißverhalten, da die damit hergestellten Motorblöcke später mit separat hergestellten Kolben ausgerüstet werden und aus Kostengründen möglichst auf eine aufwendige Nachbehandlung verzichtet werden soll.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein wirtschaftliches, großtechnisch anwendbares Oberflächenbehandlungsverfahren für zylindrische oder teilzylindrische Oberflächenformen zu entwickeln, mit dem ein tribologisch optimierter, wärmebehandelbarer Hohlzylinderrohling günstig herstellbar ist. Die neue Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens soll mit einer hohen Genauigkeit arbeiten und eine gute Einstellbarkeit für die verschiedenen Prozeßparameter ermöglichen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die in den Patentansprüchen angegebenen Merkmale gelöst. In zahlreichen Versuchen wurde festgestellt, daß eine hohe Genauigkeit und ein geringeres Verschleißverhalten der Laufflächenbehandlungsanlage und der darauf produzierten Teile dann erreicht werden kann, wenn

1. die Aufspannebene der Spannvorrichtung 1 parallel zur Strahlrichtung der Lasereinheit 3 ausgerichtet ist,



2. die Lasereinheit 3 senkrecht zur Aufspannebene der Spannvorrichtung 1 verschiebbar ist, wobei die Strahlrichtung senkrecht zur Transferachse 10 in einem Winkel  $\alpha < 45^\circ$  zum Schwerkraftvektor ausgerichtet ist und
3. die Pulverzugabe 5 entweder direkt in Strahlrichtung der Lasereinheit 3 oder (in Vorschubrichtung gesehen) kurz vor der Strahlauftreffzone 12 mündet.

Für eine kostengünstige Bearbeitung in der Laufflächenbehandlungsanlage ist vorgesehen, daß eine Laserbehandlungseinheit 3 aus mehreren Strahleinrichtungen oder einer Einrichtung mit geteiltem Strahl besteht, die in eine Zylinderbohrung einfahrbar sind, wobei mehrere Bearbeitungszonen auf der Zylinderwand hintereinander (in Zylinderachsrichtung gesehen) angeordnet sind.

Ferner kann die Produktionskapazität der Laufflächenbehandlungsanlage dadurch verbessert werden, daß die Pulverzuführungseinrichtung 5 aus mehreren Zugabeeinrichtungen gleicher Anzahl wie Bearbeitungszonen besteht, die in eine Zylinderbohrung einfahrbar sind, wobei die Zugabeöffnungen hintereinander (in Zylinderachsrichtung gesehen) angeordnet sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren besteht in einer Kombination von

- a) Linienfokus mit Linienbreiten quer zur Vorschubrichtung von größer 4 mm,
- b) Hochenergiestrahl mit einer Wellenlänge zwischen 780 und 940 nm und eine
- c) Pulverzugabe in der Wannenlage verbunden mit einer spezifischen Energieeinbringung von 5.000 - 600.000 W/cm<sup>2</sup> herstellbar ist.

Zur gesteuerten Si-Kornverteilung und Ausbildung von Siliziumprimärkristallen bei Phasendurchmessern von bis zu 80  $\mu\text{m}$  in der eutektisch erstarrenden Restschmelze trägt

d) die Abkühlungsgeschwindigkeit 200 - 600 K/sec bei.

Der Verfahrensschritt e) bedeutet, daß der Hartstoff, z.B. das Silizium, im Schmelzbad vollständig gelöst werden muß.

Die Zeitdauer ist abhängig von der spezifischen Leistung des Lasers. Wenn der Linienfokus zulange einwirkt, entsteht Porenbildung durch Verdampfen des Aluminiums bzw. der Matrixlegierung und die Hartstoffe können verklumpen.

Die Vorschubgeschwindigkeit soll gemäß Verfahrensschritt f) unter 10.000 mm/min liegen, da sonst die Eintrittsenergie für den Eintritt des Hartstoffs in die Schmelze nicht ausreicht. Bei gegebener Leistung soll der Laserstrahl in die Matrix eingekoppelt werden mit einer Energieausbeute von 40 - 60 %.

Bei zu hoher Abkühlungsgeschwindigkeit > 600 K/sec reicht die Lösungszeit für den Hartstoff nicht aus, bei unter 200 K/sec entstehen Risse in der Auflegierungszone, da zuviel Hartstoff in Lösung geht.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung können mehrere Energiestrahleinheiten als weitere Parameter zur Steuerung der Gefügeeigenschaften durch räumlich veränderbare Abkühlungsgeschwindigkeiten genutzt werden.

Dadurch sind räumlich unterschiedliche Oberflächenhärten einstellbar, die eine rein mechanische Weiterbearbeitung und Endbearbeitung ermöglichen. Wenn die Oberflächenhärte größer 160 HV wird, kann mit Diamantwerkstoff ohne Riefenbildung und ohne Verschmieren gehont werden. Dabei können in einem weiteren Bearbeitungsgang rein mechanisch die Siliziumprimärkristalle oder andere Hartstoffe mit > 1  $\mu\text{m}$  Durchmesser an der Oberfläche mit < 1  $\mu\text{m}$  abtragend freigelegt werden.

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel soll der Linienfokus in Doppelspur hintereinander (bezogen auf die Vorschubrichtung)

auf die zu legierende Oberfläche gerichtet werden, so daß eine partielle Wärmebehandlung durch Härtung, Rekristallisation, Verlängerung der Ausscheidungszeit, Homogenisierung und Phasenvergrößerungen der Ausscheidungen möglich wird.

Gemäß einem weiteren bevorzugten Anwendungsfall kann auch die Pulverkomponente in einer Doppelspur aufgetragen werden, so daß hier unterschiedliche Zusammensetzungen und Auftragsraten möglich sind, z.B. Aufbau von Gradientenwerkstoffen mit gesteuerter Legierungsbildung.

Für das Anfahren und Abschalten der Beschichtungseinrichtung kann in bevorzugter Weise eine regelbare Blende eingesetzt werden, die zur Verlängerung oder Verkürzung der Linienfokus-Breite in Vorschubrichtung gesehen dient.

Im Gegensatz zu der bekannten Beschichtungsvorrichtung gemäß DE 198 17 091 A1 (NU TECH/VAW motor GmbH) wird mit einer einachsigen beweglichen Energiestrahlvorrichtung und einem mehrachsigen beweglichen Bauteil gearbeitet. Hierbei ist es von besonderem Vorteil, daß die Drehgeschwindigkeit des Werkstückes veränderbar ist, um ein grobphasiges Gefüge (durch langsame Drehung) oder ein feinzelliges bzw. feinphasiges Gefüge (durch schnelleres Drehen) bei gleichem Energieeintrag zu verwirklichen.

Wie bereits erwähnt, kann eine Doppelspur zum Einlegieren verschiedener Legierungstypen verwendet werden. Das Pulver kann einstufig (ein Pulverstrahl) oder mehrstufig (mehrere Pulverstrahle) über entsprechend geformte Pulverschlitzdüsen auf die Werkstückoberfläche aufgebracht werden. Die Linienfokus-Breite beträgt mindestens 4 mm, vorzugsweise 5 bis 15 mm.

Eine Besonderheit des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß variable Eindringtiefen zwischen 100 - 2500  $\mu\text{m}$  durch Veränderung der Vorschubgeschwindigkeit und/oder durch den flächenbezogenen Energieeintrag darstellbar sind. Zur verbesserten

Einkoppelung wird vorzugsweise ein Diodenlaser mit dem im Anspruch angegebenen Wellenlängenbereich verwendet, der in Verbindung mit einem vorher aufgetragenen Hartstoffpulver und hartstoffhaltige Pulver, besonders Si oder Si-haltiges Pulver, eine hervorragende Wärmeeinbringung in die Tiefe des Bauteils ermöglicht.

Im folgenden wird die Erfindung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1            Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Lauf-  
flächenbehandlungsanlage während der Behandlung  
eines Zylinderblockes,
- Figur 2            Längsschnitt durch eine erfindungsgemäße Lauf-  
flächenbehandlungsanlage während des Einfahrens  
in einen 4-Zylinder-Reihenmotorblock,
- Figuren 3 - 5      Ausschnitt X gemäß Figur 2 in vergrößerten Dar-  
stellungen,
- Figur 6            Querschnitt analog zu Figur 1 mit 2 Strahlköpfen,
- Fig. 7            Prinzipbild zur Erläuterung des erfindungsgemäßen  
Herstellungsverfahrens,
- Fig. 8            Längsschnitt durch eine erfindungsgemäße Lauf-  
flächenbehandlungsanlage mit Pulverzufuhr über  
eine Vibrationsförderrinne,
- Fig. 9            Querschnitt entlang AA von Figur 8,
- Fig. 10            Vergrößerter Ausschnitt Y aus Figur 8,
- Fig. 11            Prinzip eines Schneckenförderers analog zu Figur  
1.

In Figur 1 ist in einer Spannvorrichtung 1 ein Zylinderblock 2 eines 4-Zylinder-Reihenmotors so eingespannt, daß die Längsachse des Reihenmotors in Schwerkraftvektorrichtung zeigt.

Eine Laserbehandlungseinheit 3 ragt mit dem Strahlkopf 4 in die Bohrung des Zylinderblockes 2 hinein. Der Strahlkopf ist in Richtung einer Transferachse 10 (senkrecht zur Zeichnungsebene) verschiebbar.

Aus dem Strahlkopf 4 tritt in Schwerkraftrichtung ein Laserstrahl aus, der in der Strahlaufftreffzone 12 auf die Oberfläche der Zylinderwand trifft und dort eine Erwärmungszone 11, eine Schmelzzone 12 und eine Erstarrungszone 13 bildet.

Im Bereich der Strahlaufftreffzone mündet auch eine Pulverzuführungsvorrichtung 5, mit der ein Pulverstrahl 9 entweder direkt in Strahlrichtung oder - in Vorschubrichtung gesehen - kurz vor dem Auftreffpunkt der Laserstrahlen auf die zu behandelnde Zylinderwand aufgebracht wird. Mit der Aufbringung des Pulvers können die Gefügeeigenschaften sowohl von der Legierungsseite her als auch von der Art der Gefügebildung beeinflußt werden. Dies geschieht z. B. durch Art und Menge des zugeführten Pulvers.

In einer nicht dargestellten Variante können mehrere Pulverzuführungsvorrichtungen gleichzeitig in die Zylinderbohrung eingebracht werden. Auch die Laserbehandlung kann über mehrere Strahlköpfe gleichzeitig erfolgen.

Figur 2 zeigt eine erfindungsgemäß ausgebildete Laufflächenbehandlungsanlage in einem 4-Zylinder-Reihenmotor. Man erkennt den Zylinderblock 2 im Längsschnitt - also senkrecht zur Abbildungsebene nach Figur 1. Die Spannvorrichtung 1 ist auf einem Spanntisch 1a und einem Drehteller 1b angeordnet, der mit einem Antrieb 6 für die Bewegung der Transfereinheit entlang einer Transferachse 10 verbunden ist.

Die Pfeilrichtung 6a gibt an, in welche Richtung der Motorblock 2 bei der Behandlung gedreht wird. Hierbei ist es wichtig, daß die Pulverzuführungsvorrichtung 5 vor dem Laserkopf 4 positioniert ist, wie in Figur 2, Ausschnitt X, dargestellt.

Über eine Spindel 7 wird die Einfahrbewegung des Laserkopfes 4 in die Zylinderbohrung bewirkt. Die Achsparallelität zwischen Zylinderbohrungsachse und Drehachse 10 ist wichtig für die Einhaltung der Fertigungstoleranzen. Sie wird durch die Schlittenführungen 7a, 7b sichergestellt, auf denen die Laserbehandlungseinheit 3 über entsprechende Gegenführungen in den Zylinderblock 2 ein- und ausgefahren wird.

Die Ausschnittsvergrößerungen nach Figuren 3 - 5 zeigen noch einmal die Erwärmungszone 9/11, die Schmelzzone 12 und die Erstarrungszone 13 in vergrößerter Darstellung. Die flächenmäßige Ausdehnung der einzelnen Zonen, bzw. Bereiche, kann durch die Drehgeschwindigkeit des Zylinderblockes 2, der Bewegung der Transfereinheit entlang der Transferachse 10 und durch die Anzahl der Laserbehandlungseinrichtungen bzw. der Strahleinrichtungen sowie der Pulverzuführungsvorrichtungen beeinflusst werden.

Während in Figur 3 nur ein Brennfleck 8 für den einfachen Laserstrahlkopf 4 vorhanden ist, zeigt Figur 4 zwei Brennflecke 8a, 8b. Hierfür wird die Laserbehandlungseinheit mit zwei Strahleinrichtungen gemäß Anspruch 13 ausgestattet.

In Figur 5 ist eine Doppelspur mit zwei versetzten Brennflecken 8a, 8b und je zwei Schmelz- und Erstarrungsfronten 12, 13 dargestellt. Diese Variante erfordert eine Mehrfachpulverzuführung, wie sie im Anspruch 14 beschrieben und in Figur 6 dargestellt ist. Mit Bezugszeichen 9/11 ist die Pulverzuführung in der Vorwärmzone bezeichnet. Da man die Strahlköpfe 4.1 und 4.2 schwenken kann, sind die Schwenkwinkel mit  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  angegeben.

In Figur 7 ist das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten, zylindrischen oder teilzylindrischen Bauteiles schematisch dargestellt. Es besteht darin, daß zunächst ein Energiestrahls mit einer linienförmigen Strahlfläche (auch Linienfokus genannt) auf eine Werkstückoberfläche gerichtet wird. Dabei wird die Werkstückoberfläche aufgeschmolzen und ein Hartstoff- oder ein Legierungspulver in die aufgeschmolzene Oberfläche zugeführt.

Wie Figur 7 zeigt, bildet sich in der Auftreffzone des Energiestrahls ein lokal begrenztes Schmelzbad mit einer Erwärmungs- und Aufschmelzfront 20, einer Lösungszone bzw. Umschmelzzone 21 und eine Erstarrungsfront 22 aus.

Seitlich vom Energiestrahls 23 wird eine Pulvermenge 24 in Schwerkraftrichtung auf die Oberfläche des Bauteils 26 aufgebracht. Die Menge des Pulvers 24 wird mit der Vorschubbewegung 27 des Werkstücks oder Bauteils 26 koordiniert, wobei die Pulverstrahlbreite quer zur Bildebene von Figur 7 in etwa der Breite des Energiestrahls 23 entspricht (ebenfalls gemessen in Querrichtung zur Bildebene).

Man erkennt aus Figur 7, wie die auf der Werkstückoberfläche zugeführte Pulvermenge in der Erstarrungsfront aufgewärmt und dann spätestens im Energiestrahls 23 im Schmelzbad gelöst wird. Versuche haben ergeben, daß bei einer Wellenlänge von 780 bis 940 nm der Energiestrahls optimiert in die Metallmatrix einkoppelt, aber auch daß das Pulver optimiert und schnell aufgeheizt und im Kontakt mit der verflüssigten Matrixlegierung in der Schmelze gelöst wird.

Wie die Pfeile 28 in Figur 7 andeuten, tritt eine Konvektion in der Lösungszone auf, so daß der Homogenisierungsvorgang in der Schmelzzone beschleunigt wird. Dies wird ermöglicht durch den Energiestrahls mit einer spezifischen Leistung von mindestens  $10^4$  W/cm<sup>2</sup>. An Schliffbildern ist zu erkennen, daß das Hartstoff- oder

Legierungspulver im Schmelzbad nur dann gleichmäßig verteilt ist, wenn der Linienfokus ausreichend lange auf die Lösungszone eingewirkt hat. Die genauen Werte lassen sich im Versuch ermitteln.

Das gleichmäßig in der Schmelze gelöste Pulvermaterial wird dann in der Erstarrungszone 22 einer gerichteten Erstarrung mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit in der Erstarrungsfront von 200 bis 600 K/sec unterworfen, wobei die Vorschubgeschwindigkeit zwischen 500 und 10.000 mm/min beträgt. In einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Pulver im Gasstrom auf die Bauteiloberfläche befördert, so daß durch die kinetische Energie bereits eine bestimmte Pulvermenge in die Aufschmelzzone eindringen kann.

Weitere Versuche haben ergeben, daß der Energiestrahl in bevorzugter Weise vor der Auftreffzone geteilt wird, wobei ein erster Teilstrahl in der Erwärmungs- und Aufschmelzzone und ein zweiter Teilstrahl hinter die Erstarrungsfront zur thermischen Gefügebehandlung gelenkt wird. Mit diesem Verfahren läßt sich die Gefügeausbildung gezielt steuern. Eine Vorrichtung zur Ausübung des Verfahrens ist in Figur 6 dargestellt.

Eine weitere Gefügesteuerung ist dadurch möglich, daß der Energiestrahl in der Erstarrungsfront mit einer spezifischen Leistung von  $< 1 \text{ KW/mm}^2$  auf die Werkstückoberfläche gerichtet ist. Dabei hat sich herausgestellt, daß die Einwirkungszeit des Energiestrahls im Schmelzbad zur Lösung und homogenen Verteilung der Hartstoff- oder intermetallischen Phasen zwischen 0,01 und 1 Sekunde liegt.

Die genannten Anforderungen werden durch einen Diodenlaser von  $\geq 3 \text{ KW}$  erfüllt, der eine einstellbare Linienfokus-Breite aufweist. Hiermit kann vor Beginn und am Ende einer Beschichtung der Energiestrahl in der Linienfokus-Breite quer zur Vorschub-



richtung reduziert werden. In analoger Weise ist auch die Pulvermenge steuerbar, so daß bei einer flächigen Behandlung nur geringe Überschneidungen der zugeführten Pulvermenge bzw. der eingestrahlten Energie festgestellt wurden.

Sofern das Werkstück als Hohlzylinder ausgebildet ist, sollte es bevorzugt in Wannenlage um den Energiestrahл rotieren, so daß der Energiestrahл, der in bezug auf die Rotationsrichtung ortsfest gehalten wird, eine kontinuierliche Vorschubrichtung während der Rotation in Richtung der Rotationsachse zur Erzeugung einer flächigen Einlegierungszone vollzieht. Dies kann den nachfolgend erläuterten Figuren 8 bis 11 entnommen werden, die einen Drehtisch 31, eine Spannvorrichtung 32, einen Motorblock 33 mit einer Zylinderbohrung 34 zeigen.

Über eine Vibrationsförderrinne 30 oder Schneckenförderer 38 wird Pulvermaterial aus einem Pulverspeicher 41 in die Zylinderbohrung 34 gefördert. Die vordeponierte Pulverlage 35 weist eine Höhe HP auf, wobei die Vibrationsförderrinne 30 in einem Abstand HA oberhalb des in Wannenlage liegenden Zylinders angeordnet ist. In der Vibrationsförderrinne 30 wird die Höhe des Pulvers HF erreicht.

Die Vibrationsförderrinne 30 weist eine Vibrationsanregung 40 mit der Frequenz  $f$  auf. Ferner ist an der Vibrationsförderrinne 30 ein Koppелеlement 42 für die Erzeugung der Vibrationen angebracht.

Über einen Diodenlaser 43 und eine Laseroptik 44 wird der Energiestrahл umgelenkt und fokussiert und auf die Zylinderbohrung geleitet. Vibrationsförderrinne 30 und Diodenlaser 43 sind auf einer Montageplatte 46 befestigt, die auf einem Vorschubschlitten 45 ruht. Der Vorschubschlitten 45 kann über einen Linearantrieb in die Zylinderbohrung 34 ein- und ausgefahren werden. Dies ist mit dem Doppelpfeil in Figur 8 angedeutet.

Gemäß Figur 9 ist der Durchmesser 47 der Laseroptik so bemessen, daß in der Zylinderbohrung 34 noch Platz für die Förderrinne 30 bleibt. Da der Zylinder in Wannenlage bearbeitet wird, tritt der Laserstrahl nach unten aus der Laseroptik 44 aus, wobei sich eine Spurbreite 50 des Laserstrahls auf der Zylinderwand abzeichnet. Neben der Laserspür wird das Pulver vordeponiert in einer Spurbreite 49. Mit 48 ist der Bohrungsdurchmesser des Zylinders bezeichnet.

Zur Durchführung des Verfahrens wurden Vorrichtungen entwickelt, die für großtechnische Bearbeitungen von Werkstücken und Bauteilen geeignet sind. Dazu besteht die Vorrichtung gemäß Figur 8 aus einer Spannvorrichtung 32, auf der ein Motorblock 33 über Indexbohrungen und/oder über Bearbeitungsflächen ausgerichtet und eingespannt wird. Auf die Bearbeitungsflächen werden in Zylinderachsrichtung Energiestrahleinrichtungen eingefahren und mit einem fokussierbaren Strahlkopf und einer Pulverzuführung auf die Bearbeitungsfläche gerichtet. Es hat sich als besonders günstig erwiesen, daß der Energiestrahle in das Werkstück einfahrbar ist, das auf einem Drehtisch 31 mit einer Spannvorrichtung 32 angeordnet ist, wobei der Energiestrahle als Linienfokus aus einer Diodenlaseroptik 44 senkrecht auf das in Wannenlage rotierende Werkstück, z.B. einem Motorblock 33, gerichtet ist.

Wenn mehrere Energiestrahleinheiten versetzt zueinander auf die Bearbeitungsfläche des in Wannenlage rotierenden Werkstücks gerichtet sind, sollte die Energiestrahleinheit die Bearbeitungsfläche zeilenförmig überstreichen. Dabei ergibt sich eine flächige Einlegierungszone, die je nach Begrenzungseinrichtung der Vorrichtung und/oder Drehbewegung des Bauteiles dimensioniert werden kann.

Vorteilhafterweise überstreichen die Energiestrahleinheiten mehrere Zeilen der Bearbeitungsfläche gleichzeitig. Dadurch werden die Bearbeitungszeiten verkürzt und die behandelten Oberflächen gleichmäßig sich.

Eine Alternative zu der in Figuren 1 bis 6 dargestellten Pulverzuführung über eine oder mehrere Düsen wird nachfolgend erläutert. Dabei handelt es sich um eine Pulverzufuhr mittels Förderschnecke oder Vibrationseinrichtung, die sich insbesondere bei hohen Temperaturen und in engen Zylinderbohrungen bewährt hat.

Die Wärmeabstrahlung bei hohen Laserleistungen ist sehr intensiv, so daß übliche Düsenmaterialien, die in die Nähe der Laserauftreffzone angeordnet sind, den hohen Temperaturen nicht standhalten oder erodieren. Darüberhinaus steht das über die Düse abgestrahlte Pulver unter hohem Druck und hat eine starke Auswirkung auf die Gasströmung innerhalb der zu bearbeitenden Zylinderbohrung. Mit der Gasströmung verändert sich das Temperaturniveau und die Dichte des Schutzgases, so daß die Effektivität des Lasers starken Schwankungen ausgesetzt ist.

Mit einer Vibrationsförderrinne 30 lassen sich diese Bedingungen wesentlich besser steuern. Das Temperaturniveau und die Schutzgasatmosphäre wird bei der Pulverzuführung über eine Förderschnecke oder Förderrinne nicht beeinträchtigt. Es können hochfeste und temperaturbeständige Materialien für die Förderrinne benutzt werden, so daß auch eine langfristige Temperatureinwirkung keinerlei Ermüdungserscheinungen oder Erosionseffekte auslöst.

Die Bearbeitung der Zylinderbohrung 34 in Wannenlage ist mit einer Zuführung des Pulvers über eine Schwingrinne besonders effektiv, wenn dies mit einer gemäß Anspruch 1 b) vordeponierten Pulverlage HP erfolgt.

Selbstverständlich lassen sich auch andere Fördereinrichtungen wie z.B. Förderschnecken, Förderbänder oder dergleichen verwenden.

Diese haben gegenüber der Pulverförderung in einer Düse den Vorteil, daß eine Spur mit der Breite der Laserfokusbreite und

eine Höhe bzw. Schichtdicke zwischen 0,3 - 3 mm genau einstellbar ist.

Um die Dosierung des Pulvers genau steuern zu können, werden vorteilhafter Weise mechanische Abstreifer oder Bürsten im Bereich der Auftragszone angeordnet. Damit läßt sich die Materialmenge in der Breite und Höhe beliebig steuern. Vorzugsweise ist die Schichtdicke des aufgeschütteten Pulvers im Bereich von 0,3 bis 3 mm zu halten, wobei für eine hohe Schichtdicke eine höhere Energiedichte des Lasers benötigt wird.

Ein wesentlicher Faktor für die Einkopplung der Laserenergie in das Pulvermaterial ist das Kornspektrum und die Kristallform des verwendeten Pulvers.

Zur Durchführung im großtechnischen Maßstab wurde ein Diodenlaser 43 mit einer Laseroptik 44 entwickelt, die bezogen auf die Drehrichtung des Bauteils ortsfest innerhalb der drehbaren, mit einer Antriebseinheit verbundenen Spannvorrichtung 32 angeordnet sind. Der Diodenlaser mit Optik wird mittels eines Vorschubschlittens 45 zusammen mit der Pulverzuführungseinrichtung, die seitlich neben dem Energiestrahle angeordnet ist, in die Zylinderbohrung 34 gefahren. Es ist auch möglich, das Pulver auf die dem Strahl zugewandten Oberflächen zu deponieren. Dies erfolgt gemäß Figur 8 durch eine Förderrinne 30, mit der das Pulver in Schwerkraftrichtung lose aufgerieselt wird. Es entsteht eine vordeponierte Pulverlage 35, wobei die Austrittshöhe HA der Förderrinne in Figur 9 angegeben ist.

Für die Herstellung von wendelförmigen oder anderen geometrischen Führungen des Linienfokusses sollte die Antriebseinheit für den Drehtisch 31 eine variable Drehzahl ermöglichen. Dabei kann der Vorschubschlitten 45 des Diodenlasers 43 und der Pulverzuführung in Rotationsachsrichtung mit der Drehgeschwindigkeit des Motorblocks 33 kombiniert werden.

In den Figuren 10 und 11 bewirkt die Vibrationsförderrinne 30 bzw. Schneckenförderer 38 eine Pulverhöhe HP, wobei der Abstand zur Fördereinrichtung mit HA bezeichnet ist. Die Zylinderbohrung 34 nimmt die Laseroptik 44 mit Bohrungsdurchmesser 48 auf und beide werden auf einem Vorschubschlitten 45 in Pfeilrichtung bewegt.

Mit dem beschriebenen Verfahren sind oberflächenlegierte, zylindrische oder teilzylindrische besonders Hohlzylinder-Bauteile herstellbar. Sie bestehen aus einer Aluminiummatrixgußlegierung und einer bis an die Bauteiloberfläche reichenden Ausscheidungszone aus einer Aluminium-Basislegierung mit ausgeschiedenen Hartphasen. Zwischen Matrix und Ausscheidungszone liegt eine durch primäre Hartphasen übersättigte, eutektische Zone (Übersättigungszone) vor, wobei der Härteanstieg von der Matrix bis zur Bauteiloberfläche stufenweise erfolgt. Besonders günstige Verhältnisse lassen sich erreichen, wenn die Matrixlegierung vom Typ AlSiCu oder AlSiMg untereutektisch ist und in der übersättigten, eutektischen Übergangszone eine Legierung vom Typ AlSi mit fein ausgeschiedenen Primärsiliziumphasen kleiner  $1\text{ }\mu\text{m}$  vorliegt, während in der Ausscheidungszone Primärsiliziumphasen von 2 bis  $20\text{ }\mu\text{m}$  vorliegen. Dann lassen sich Härteanstiege bis zur Bauteiloberfläche von über 200 % erreichen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten zylindrischen, teilzylindrischen oder hohlzylindrischen Bauteiles, wobei ein Energiestrahл mit einer linienförmigen Strahlfläche, im folgenden Linienfokus genannt, auf eine Werkstückoberfläche gerichtet, dadurch die Werkstückoberfläche aufgeschmolzen und ein Hartstoffpulver in die aufgeschmolzene Oberfläche zugeführt wird,

dadurch gekennzeichnet

daß

- a) in der Auftreffzone des Energiestrahls ein lokal begrenztes Schmelzbad mit einer Erwärmungs- und Aufschmelzfront, einer Lösungszone und einer Erstarrungsfront erzeugt wird,
- b) seitlich vor dem Energiestrahл das Hartstoffpulver über eine Fördereinrichtung in Schwerkraftrichtung aufgebracht und mit der Vorschubbewegung des Werkstücks koordiniert in einer Breite zugeführt wird, die der Breite des Linienfokus entspricht und dabei eine Schichthöhe von 0,3 - 3 mm erzeugt wird,
- c) die auf der Werkstückoberfläche zugeführte Hartstoffpulvermenge in der Erwärmungsfront des Schmelzbades mit einem Energiestrahл mit einer Wellenlänge von 780 - 940 nm aufgeheizt und im Kontakt mit der verflüssigten Matrixlegierung die Pulvermenge sofort in das Schmelzbad eingelöst wird,

- d) durch den Energiestrahhl mit einer spezifischen Leistung von mindestens  $10^4$  W/cm<sup>2</sup> eine Konvektion in der Lösungszone erzeugt wird, so daß der Homogenisierungsvorgang in der Schmelzzone beschleunigt wird,
- e) wobei der Linienfokus solange auf die Lösungszone einwirkt, bis das Hartstoffpulver im Schmelzbad gleichmäßig verteilt ist,
- f) das vor dem Energiestrahhl gleichmäßig verteilte Pulvermaterial, welches in der Lösungszone metallurgisch in Lösung gegangen ist, einer gerichteten Erstarrung in der Erstarrungsfront mit hoher Abkühlungsgeschwindigkeit von 200 - 600 K/sec unterworfen wird bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 500 - 10.000 mm/min..

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

daß das Hartstoffpulver in den Verfahrensschritten b) - f) ein Siliziumpulver mit einem Korndurchmesser von 40 - 90  $\mu$ m ist.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß der Energiestrahhl vor der Auftreffzone geteilt wird, wobei ein erster Teilstrahl in die Erwärmungszone und Aufschmelzzone und ein zweiter Teilstrahl hinter die Erstarrungsfront zur thermischen Gefügebehandlung gelenkt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet,

daß der zweite Teilstrahl hinter der Erstarrungsfront zur Steuerung des Ausscheidungsgefüges mit einer spezifischen

Leistung von  $< 1 \text{ KW/mm}^2$  auf die Werkstückoberfläche gerichtet ist.

5. Verfahren nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Einwirkungszeit des Energiestrahls im Schmelzbad zur Lösung und homogenen Verteilung von primär ausgeschiedenen Si-Phasen zwischen 0,01 und 1 Sekunde beträgt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß zur Formung des Energiestrahls ein Diodenlaser von  $\geq 3 \text{ KW}$  mit veränderbarer Optik zur Einstellung der Linienfokus-Breite von 4 - 15 mm verwendet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß vor Beginn und am Ende einer Beschichtung der Energiestrahle und die Pulvermenge in der Linienfokus-Breite quer zur Vorschubrichtung reduziert wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß das Werkstück als Hohlzylinder ausgebildet ist und während der Beschichtung in Wannenlage um den Energiestrahle rotiert, wobei der Energiestrahle, der in bezug auf die Rotationsrichtung ortsfest gehalten wird, eine kontinuier-



liche Vorschubbewegung während der Rotation in Richtung der Rotationsachse zur Erzeugung einer flächigen Einlegierungszone vollzieht.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
  
daß am Beginn des Einlegierens der Energiestrahahl punktförmig ausgebildet ist und sich zusammen mit der Pulvermenge kontinuierlich vergrößert, bis er nach einer Umdrehung des Werkstücks die volle Linienfokus-Breite erreicht hat.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
  
daß bei Beendigung der Einlegierung während des letzten Umlaufs des Werkstücks die Linienfokus-Breite und die Pulvermenge kontinuierlich auf Null reduziert werden.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
  
daß ein Hohlzylinder aus Al- oder Mg-Legierungen mit einem Bohrungsdurchmesser von 60 - 120 mm in einer Tiefe bis zu 200 mm behandelt wird.
12. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, bestehend aus einer Werkstückspannvorrichtung (1), auf der ein Werkstück über Indexbohrungen und/oder über Bearbeitungsflächen ausgerichtet und eingespannt wird, auf dessen Oberfläche eine Pulverzuführung (5) und ein fokussierbarer Strahl aus einem Strahlkopf (4) gerichtet ist,

gekennzeichnet durch eine in eine Zylinderachse eingefahrene Energiestrahle- und Pulverzufuhreinrichtung, wobei der Energiestrahle als Linienfokus in einem Winkel  $\pm \alpha = 0 - 45^\circ$  zum Schwerkraftvektor auf das in Wannenlage rotierende Werkstück gerichtet ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12,

dadurch gekennzeichnet,

daß mehrere Energiestrahleinheiten versetzt zueinander auf die Bearbeitungsfläche des in Wannenlage rotierenden Werkstücks gerichtet sind, wobei die Energiestrahleinheiten (8b, 8a) die Bearbeitungsfläche hintereinander und spurgleich zeilenförmig überstreichen.

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Energiestrahleinheiten nebeneinander mehrere Zeilen der Bearbeitungsfläche ggf. mit mehreren Pulverzufuhreinrichtungen gleichzeitig überstreichen.

15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Energiestrahleinrichtung bezogen auf die Drehrichtung ortsfest innerhalb der drehbaren, mit einer Antriebseinheit verbundenen Werkstückspannvorrichtung angeordnet ist, wobei der Energiestrahle aus dem Energiestrahlkopf auf die Werkstückoberfläche gerichtet ist,

daß die Pulverzuführungseinrichtung seitlich neben der Energiestrahleinrichtung angeordnet ist.

16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Pulver auf die dem Strahl zugewandte Oberfläche entweder entgegen der Vorschubrichtung durch den Strahl in die Aufschmelzzone geblasen oder in Schwerkraftrichtung lose vor oder in die Aufschmelzzone vor dem Energiestrahл aufgerieselt wird.
17. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Antriebseinheit für das Werkstück eine variable Drehzahl ermöglicht, wobei die Vorschubrichtung der Energiestrahлvorrichtung und der Pulverzufuhr in Rotationsachsrichtung mit der Drehgeschwindigkeit des Werkstückes kombiniert wird, um wendelförmige oder andere geometrische Führungen des Linienfokus auf der Werkstückoberfläche zu erreichen.
18. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere für Motorblöcke, bestehend aus einer drehbaren Spannvorrichtung (1) für einen Zylinderblock (2), einer Laserbehandlungseinheit (3) mit einem Strahlkopf (4), die mit einer Pulverzuführungsvorrichtung (5) verbunden ist, und einer Transfereinheit, die den Zylinderblock (2) vor der Laserbehandlungseinheit (3) positioniert und einem Antrieb (6) für die Bewegung der Transfereinheit entlang einer Transferachse (10),  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Aufspannebene der Spannvorrichtung (1) senkrecht zur Strahlrichtung der Lasereinheit (3) ausgerichtet ist,

daß die Lasereinheit (3) senkrecht zur Aufspannebene der Spannvorrichtung (1) verschiebbar ist, wobei die Strahlrichtung senkrecht zur Transferachse (10) in einem Winkel  $\pm \alpha = 0$  bis  $45^\circ$  zum Schwerkraftvektor ausgerichtet ist,

daß die Pulverzugabe (5) entweder direkt in Strahlrichtung der Lasereinheit (3) oder (in Vorschubrichtung gesehen) kurz vor der Strahlauftreffzone (12) mündet.

19. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß eine Laserbehandlungseinheit (3) aus mehreren Strahleinrichtungen besteht, die in eine Zylinderbohrung einfahrbar sind, wobei mehrere Bearbeitungszonen auf der Zylinderwand hintereinander (in Zylinderachsrichtung gesehen) angeordnet sind.

20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

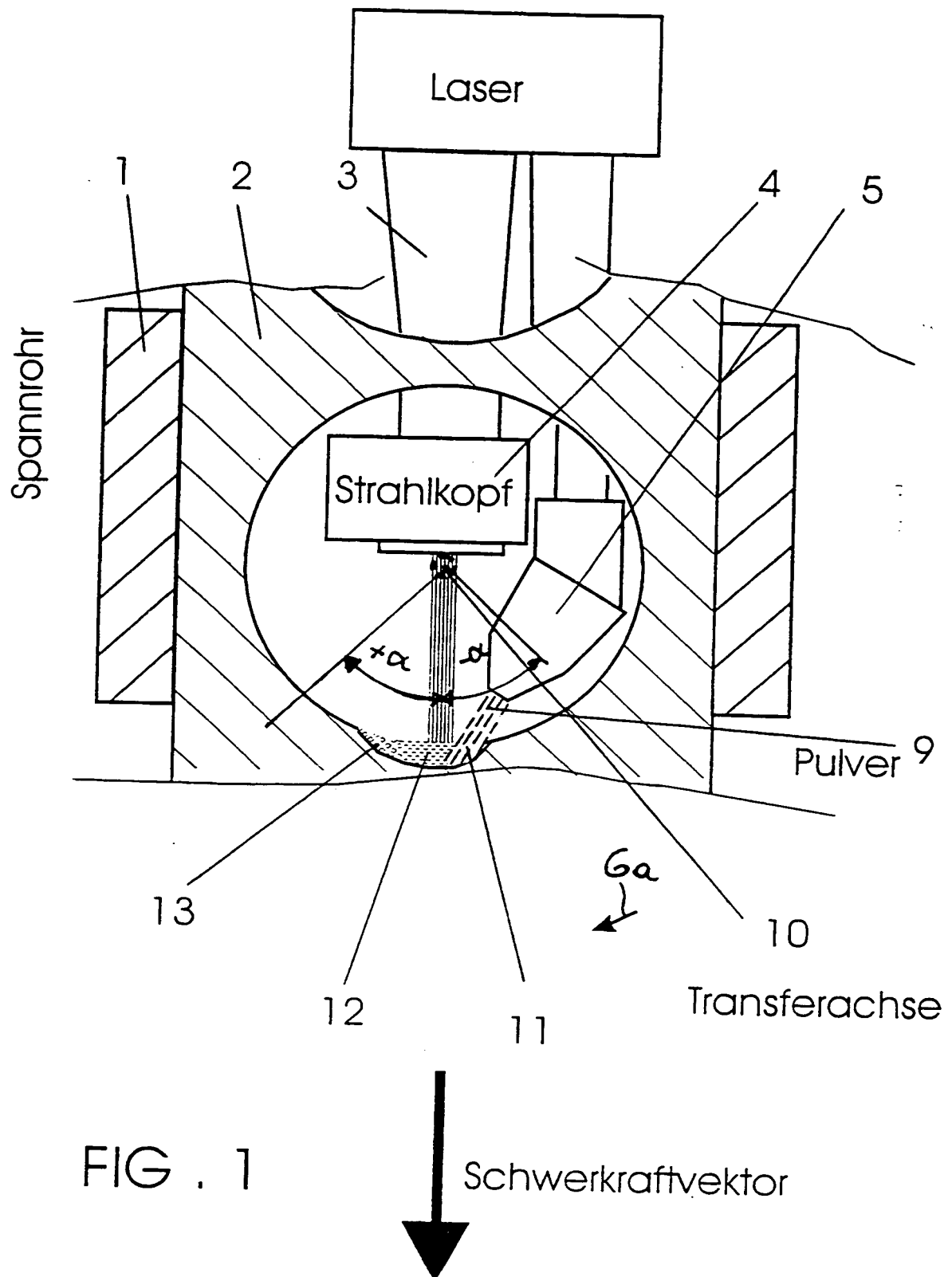
daß die Pulverzuführungseinrichtung (5) aus mehreren Zugabeeinrichtungen besteht, die in eine Zylinderbohrung einfahrbar sind, wobei die Zugabeöffnungen hintereinander (in Zylinderachsrichtung gesehen) angeordnet sind.

21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

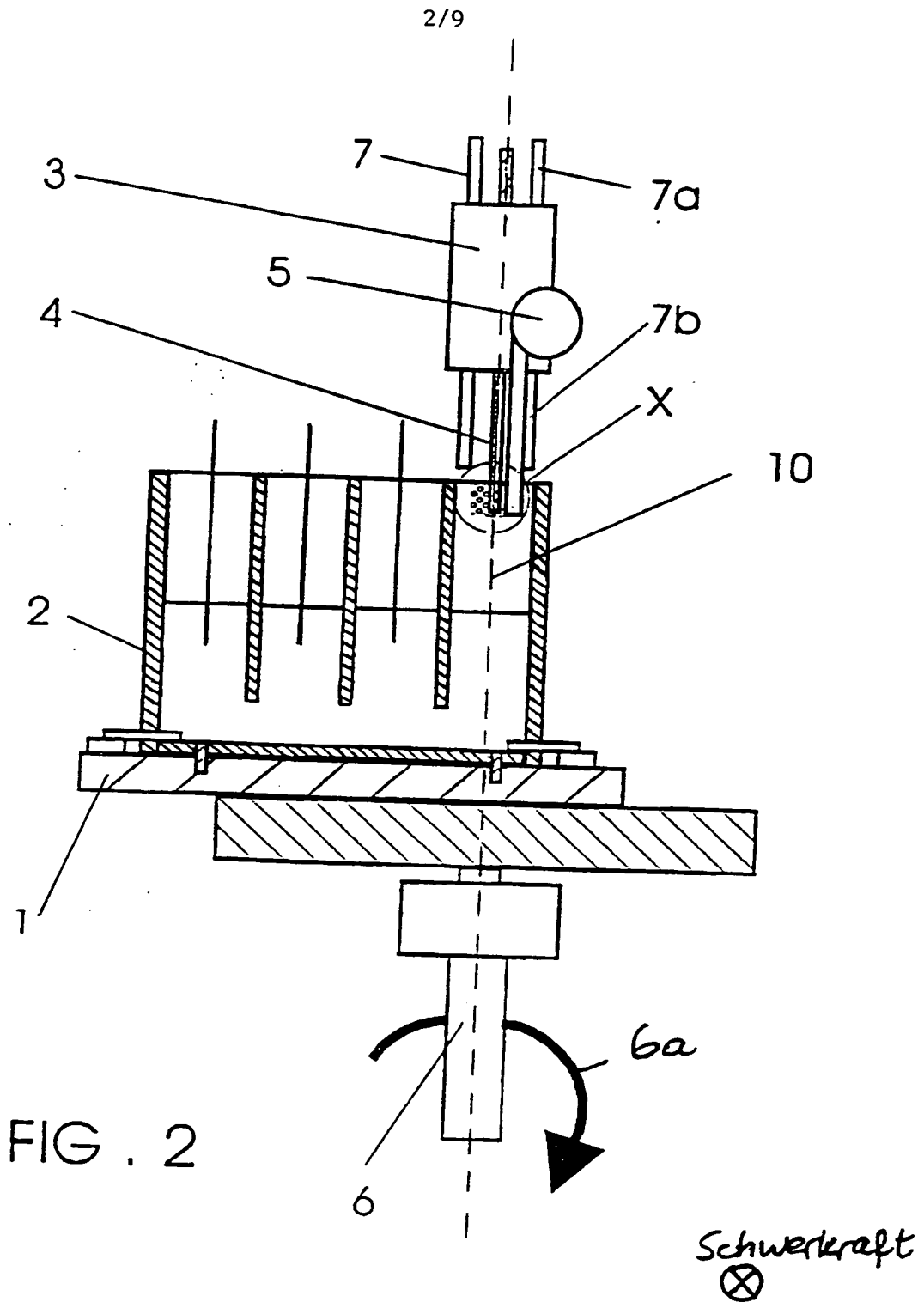
dadurch gekennzeichnet,

daß die Pulverzuführungseinrichtung aus einer Förderschnecke, einem Förderband oder einer Vibrationsförderrinne besteht.

1/9











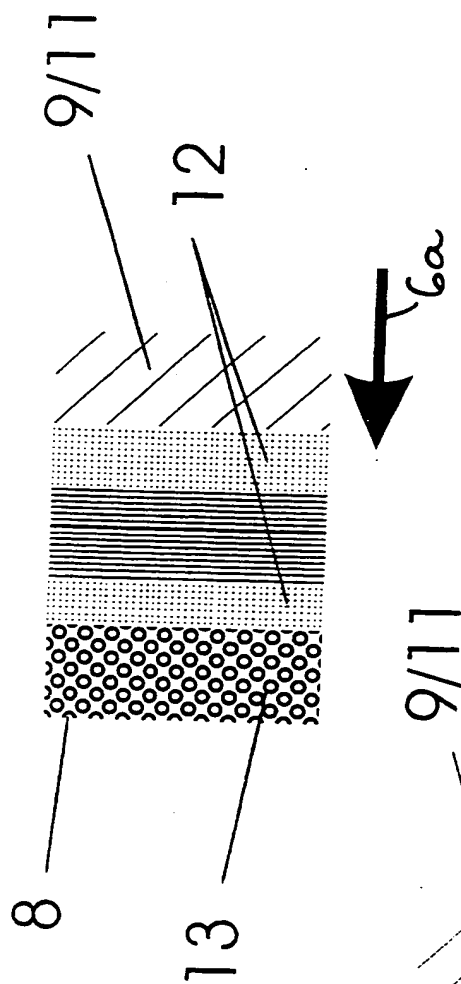


Fig. 3

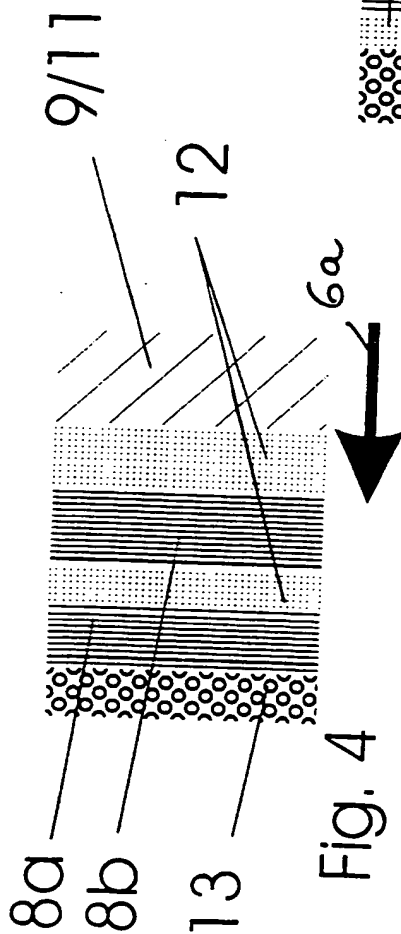


Fig. 4

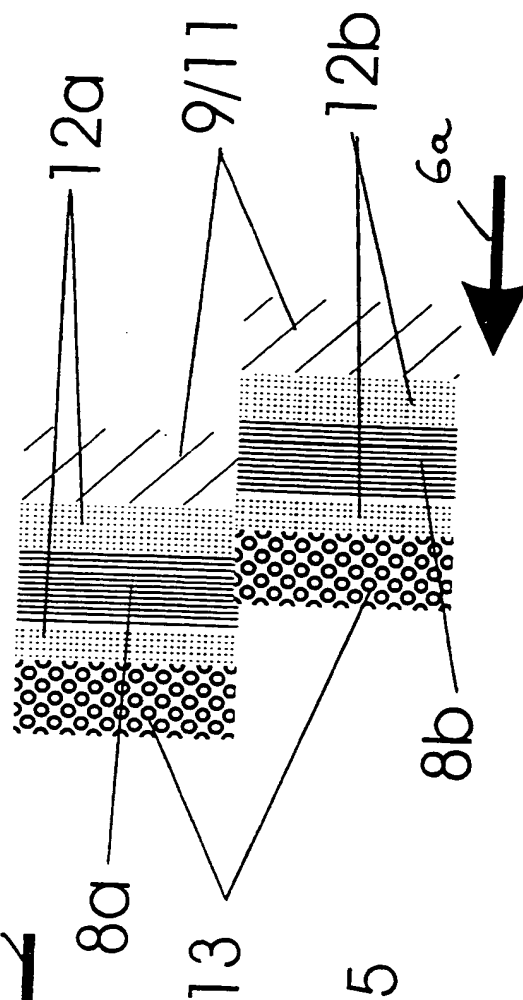


Fig. 5



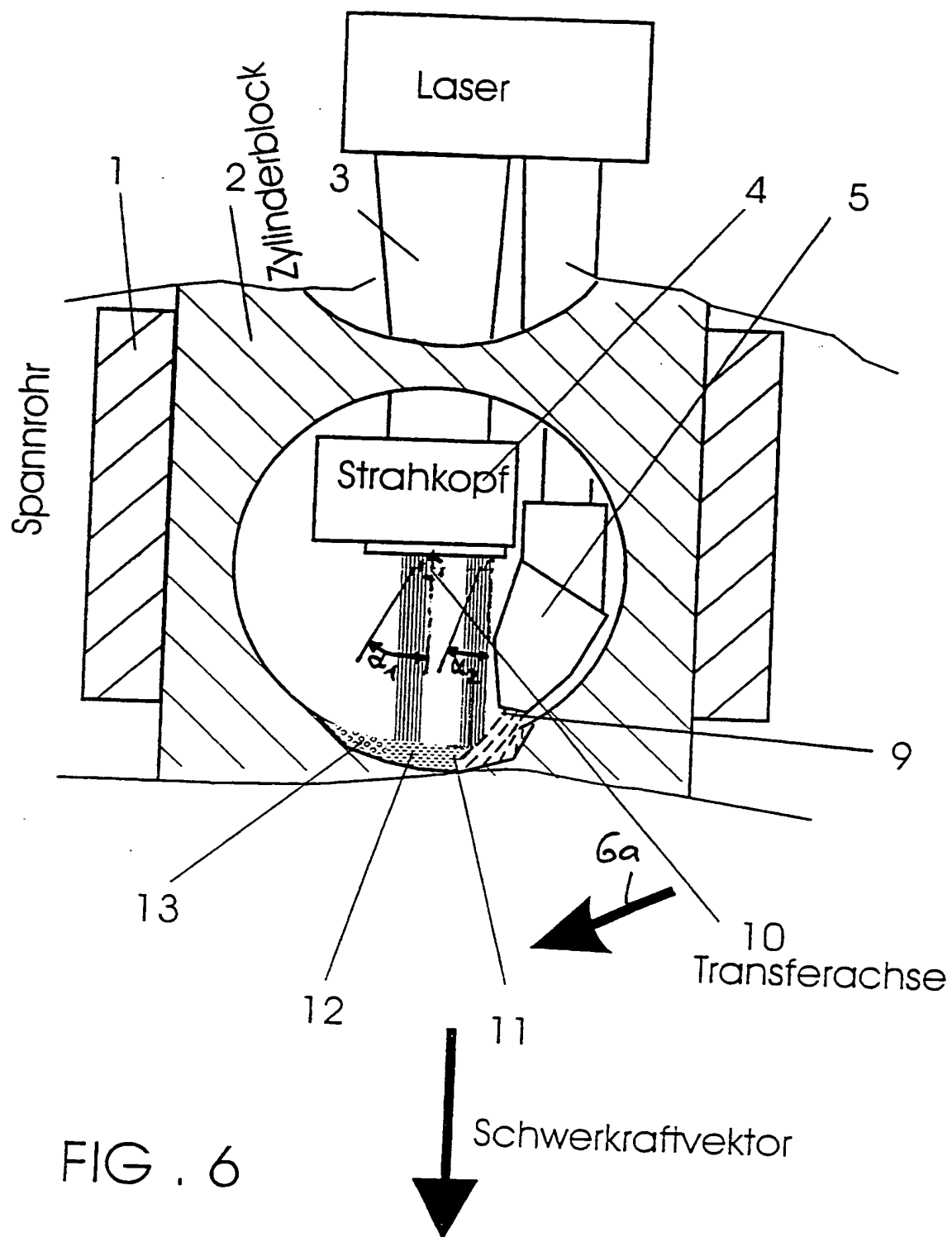
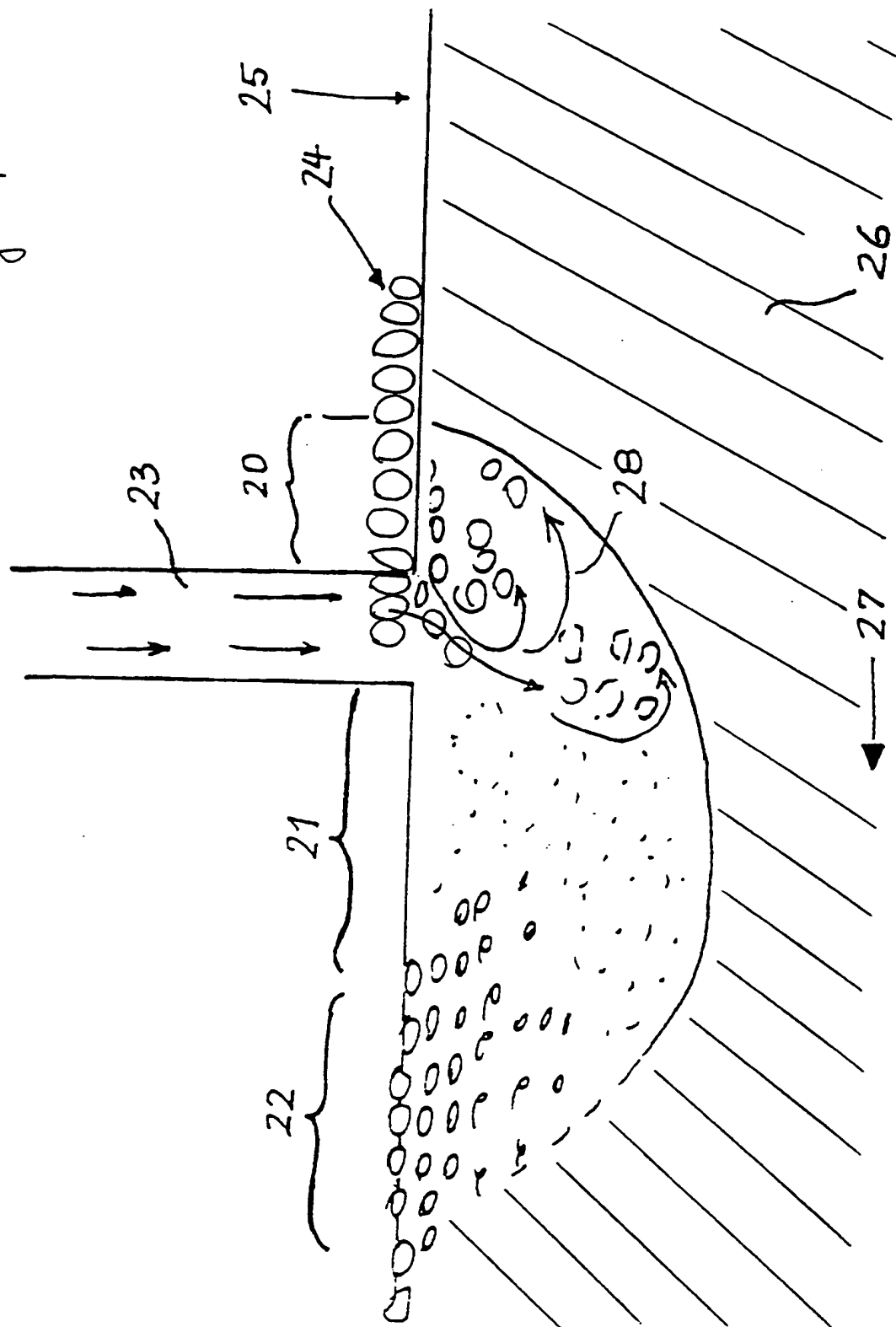
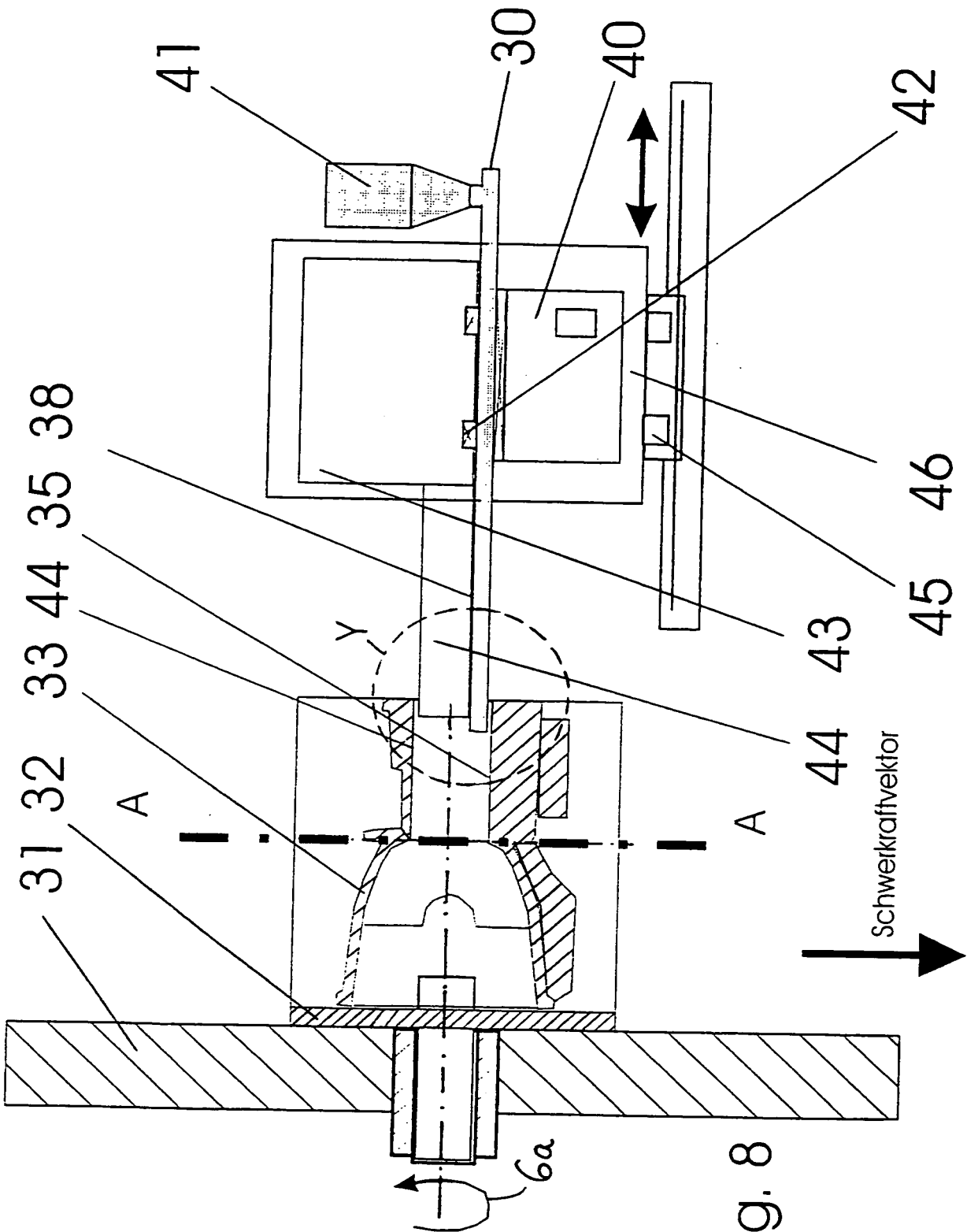




Fig 7











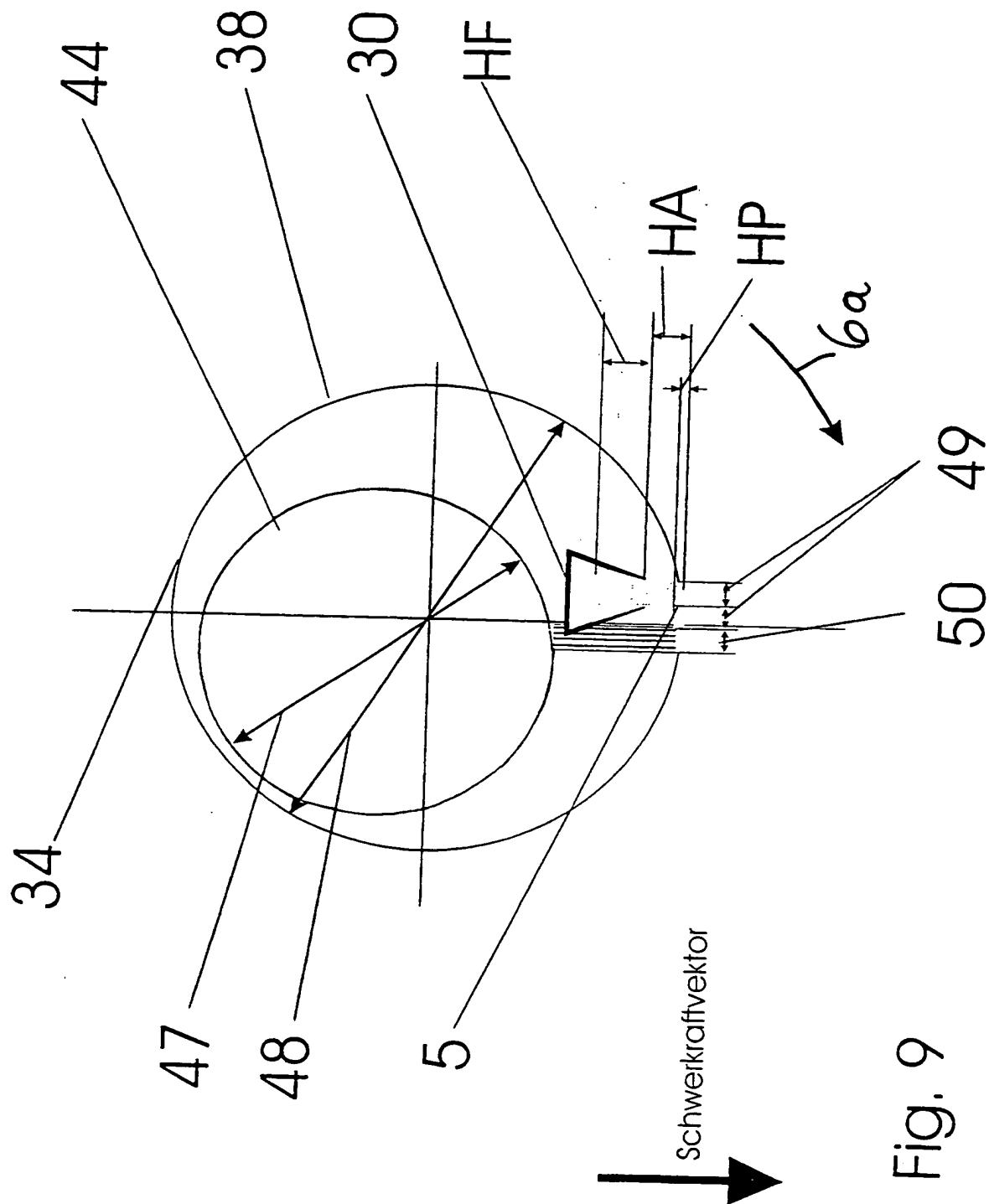


Fig. 9



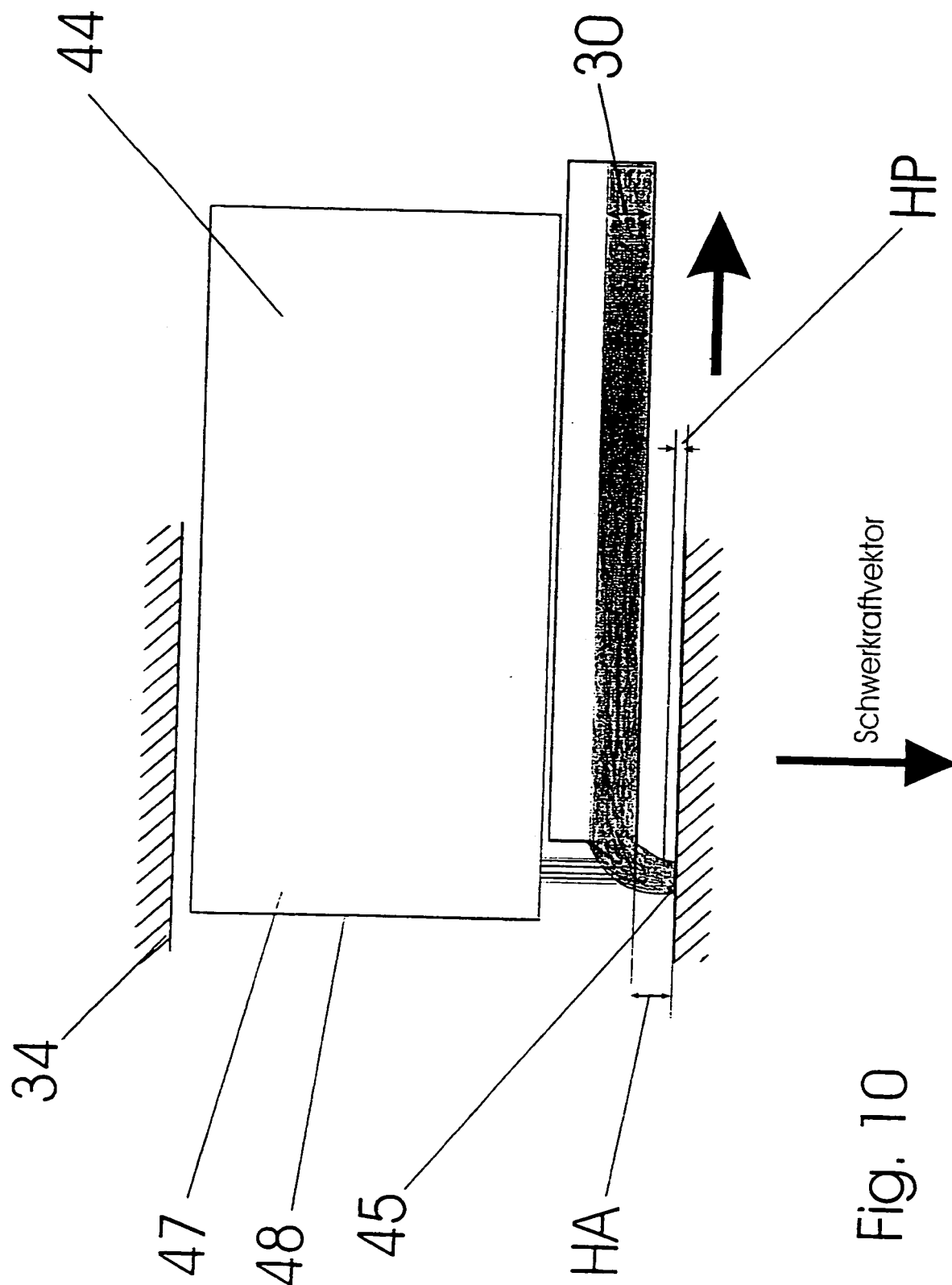


Fig. 10



9/9

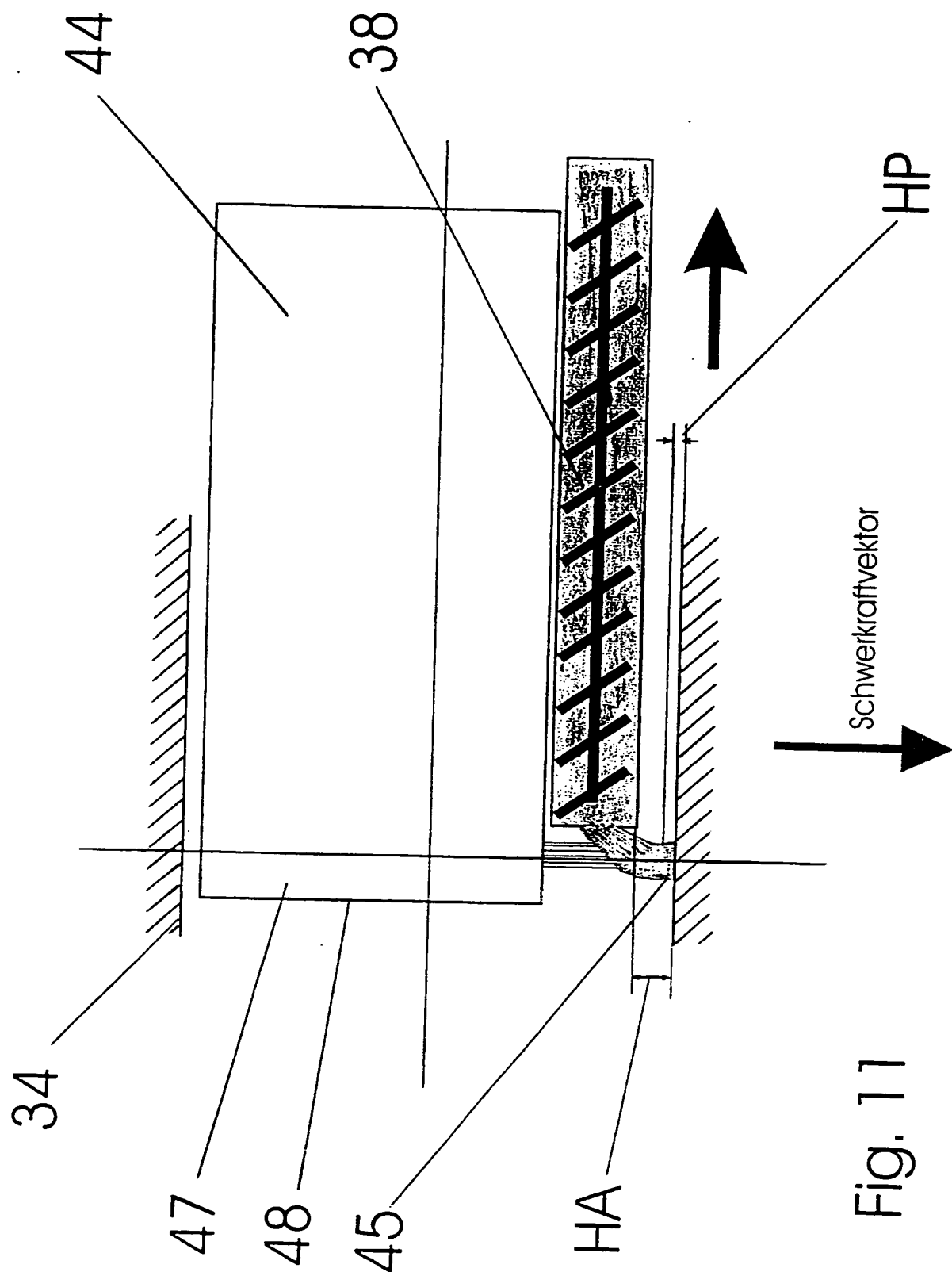


Fig. 11



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PC1/EP 01/01932

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B23K26/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 837 960 A (LEWIS ET AL.) 17 November 1998 (1998-11-17) column 10, line 17 - line 43; claims 1,2,13	1,2,5,8, 11,12
A	US 5 431 967 A (MANTHIRAM ET AL.) 11 July 1995 (1995-07-11) column 11, last paragraph	2
A	WO 98 56566 A (M.I.T.) 17 December 1998 (1998-12-17) page 54, paragraph 2	1,2,6,12
A	WO 97 10067 A (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.) 20 March 1997 (1997-03-20) cited in the application Abstract	1,2,12
-/--		

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 June 2001

Date of mailing of the international search report

26/06/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Herbreteau, D

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PC1/EP 01/01932

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>DE 198 17 091 A (NUTECH GMBH ET AL.)  21 October 1999 (1999-10-21)  cited in the application  the whole document  -----</p>	1-21



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PC1/EP 01/01932

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5837960	A	17-11-1998	NONE	
US 5431967	A	11-07-1995	US 5296062 A	22-03-1994
			US 5076869 A	31-12-1991
			US 4944817 A	31-07-1990
			US 5382308 A	17-01-1995
			US 5284695 A	08-02-1994
			US 5156697 A	20-10-1992
			US 5182170 A	26-01-1993
			AT 155381 T	15-08-1997
			AT 160960 T	15-12-1997
			AU 643700 B	25-11-1993
			AU 6206590 A	14-03-1991
			CA 2024592 A	06-03-1991
			DE 9018138 U	08-02-1996
			DE 69031061 D	21-08-1997
			DE 69031061 T	30-10-1997
			DE 69031808 D	22-01-1998
			DE 69031808 T	02-04-1998
			DK 714725 T	10-08-1998
			EP 0416852 A	13-03-1991
			EP 0714725 A	05-06-1996
			ES 2104588 T	16-10-1997
			ES 2111408 T	01-03-1998
			JP 3183530 A	09-08-1991
			US 5147587 A	15-09-1992
WO 9856566	A	17-12-1998	EP 1009614 A	21-06-2000
WO 9710067	A	20-03-1997	DE 19533960 A	20-03-1997
			AT 197259 T	15-11-2000
			DE 59606092 D	07-12-2000
			EP 0790875 A	27-08-1997
DE 19817091	A	21-10-1999	BR 9903184 A	25-04-2000
			DE 19826138 A	30-12-1999
			EP 0950461 A	20-10-1999
			HU 9901223 A	28-02-2000
			JP 11320136 A	24-11-1999
			PL 332537 A	25-10-1999



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PC./EP 01/01932

**A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 B23K26/34

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B23K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 837 960 A (LEWIS ET AL.) 17. November 1998 (1998-11-17) Spalte 10, Zeile 17 - Zeile 43; Ansprüche 1,2,13	1,2,5,8, 11,12
A	US 5 431 967 A (MANTHIRAM ET AL.) 11. Juli 1995 (1995-07-11) Spalte 11, letzter Absatz	2
A	WO 98 56566 A (M.I.T.) 17. Dezember 1998 (1998-12-17) Seite 54, Absatz 2	1,2,6,12
A	WO 97 10067 A (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.) 20. März 1997 (1997-03-20) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung	1,2,12
	--- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. Juni 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

26/06/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Herbreteau, D

# INTERNATIONALER HERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PC1/EP 01/01932

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>DE 198 17 091 A (NUTECH GMBH ET AL.)  21. Oktober 1999 (1999-10-21)  in der Anmeldung erwähnt  das ganze Dokument</p> <p>-----</p>	1-21

# INTERNATIONAL RESEARCH REPORT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PC./EP 01/01932

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5837960	A	17-11-1998	KEINE		
US 5431967	A	11-07-1995	US	5296062 A	22-03-1994
			US	5076869 A	31-12-1991
			US	4944817 A	31-07-1990
			US	5382308 A	17-01-1995
			US	5284695 A	08-02-1994
			US	5156697 A	20-10-1992
			US	5182170 A	26-01-1993
			AT	155381 T	15-08-1997
			AT	160960 T	15-12-1997
			AU	643700 B	25-11-1993
			AU	6206590 A	14-03-1991
			CA	2024592 A	06-03-1991
			DE	9018138 U	08-02-1996
			DE	69031061 D	21-08-1997
			DE	69031061 T	30-10-1997
			DE	69031808 D	22-01-1998
			DE	69031808 T	02-04-1998
			DK	714725 T	10-08-1998
			EP	0416852 A	13-03-1991
			EP	0714725 A	05-06-1996
			ES	2104588 T	16-10-1997
			ES	2111408 T	01-03-1998
			JP	3183530 A	09-08-1991
			US	5147587 A	15-09-1992
WO 9856566	A	17-12-1998	EP	1009614 A	21-06-2000
WO 9710067	A	20-03-1997	DE	19533960 A	20-03-1997
			AT	197259 T	15-11-2000
			DE	59606092 D	07-12-2000
			EP	0790875 A	27-08-1997
DE 19817091	A	21-10-1999	BR	9903184 A	25-04-2000
			DE	19826138 A	30-12-1999
			EP	0950461 A	20-10-1999
			HU	9901223 A	28-02-2000
			JP	11320136 A	24-11-1999
			PL	332537 A	25-10-1999



VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT  
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts <b>Q00903W010</b>	<b>WEITERES VORGEHEN</b> siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5	
Internationales Aktenzeichen <b>PCT/EP 01/01932</b>	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) <b>21/02/2001</b>	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) <b>28/02/2000</b>
Anmelder <b>VAW ALUMINIUM AG</b>		

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der Internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt 4 Blätter.



Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

1. Grundlage des Berichts

- a. Hinsichtlich der **Sprache** ist die internationale Recherche auf der Grundlage der internationalen Anmeldung in der Sprache durchgeführt worden, in der sie eingereicht wurde, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.



Die internationale Recherche ist auf der Grundlage einer bei der Behörde eingereichten Übersetzung der internationalen Anmeldung (Regel 23.1 b)) durchgeführt worden.

- b. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbaren **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz** ist die internationale Recherche auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das



in der internationalen Anmeldung in schriftlicher Form enthalten ist.



zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.



bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.



bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.



Die Erklärung, daß das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.



Die Erklärung, daß die in computerlesbarer Form erfaßten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

2. ☐ Bestimmte Ansprüche haben sich als nicht recherchierbar erwiesen (siehe Feld I).

3. ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung (siehe Feld II).

4. Hinsichtlich der **Bezeichnung der Erfindung**



wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.



wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt:

5. Hinsichtlich der **Zusammenfassung**



wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.



wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der in Feld III angegebenen Fassung von der Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Behörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.

6. Folgende Abbildung der **Zeichnungen** ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen: Abb. Nr. 1



wie vom Anmelder vorgeschlagen



weil der Anmelder selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.



weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.



keine der Abb.





Feld III

WORTLAUT DER ZUSAMMENFASSUNG (Fortsetzung von Punkt 5 auf Blatt 1)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines oberflächenlegierten zylindrischen, teilzylindrischen oder hohlzylindrischen Bauteiles, wobei in der Auftreffzone des Energiestrahls ein lokal begrenztes Schmelzbad mit einer Erwärmungs- und Aufschmelzfront (20), einer Lösungszone (21) und einer Erstarrungsfront (22) erzeugt wird. Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, bestehend aus einer Werkstückspannvorrichtung (1) auf der ein Werkstück über Indexbohrungen und/oder über Bearbeitungsflächen ausgerichtet und eingespannt wird, auf dessen Oberfläche eine Pulverzuführung (5) und ein fokussierbarer Strahl aus Strahlkopf (4) gerichtet ist.



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/01932

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 B23K26/34

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B23K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 837 960 A (LEWIS ET AL.) 17. November 1998 (1998-11-17) Spalte 10, Zeile 17 - Zeile 43; Ansprüche 1,2,13	1,2,5,8, 11,12
A	US 5 431 967 A (MANTHIRAM ET AL.) 11. Juli 1995 (1995-07-11) Spalte 11, letzter Absatz	2
A	WO 98 56566 A (M.I.T.) 17. Dezember 1998 (1998-12-17) Seite 54, Absatz 2	1,2,6,12
A	WO 97 10067 A (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.) 20. März 1997 (1997-03-20) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung	1,2,12
	--- -/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. Juni 2001

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

26/06/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Herbreteau, D



## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICHE ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 198 17 091 A (NUTECH GMBH ET AL.) 21. Oktober 1999 (1999-10-21) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-21



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 01/01932

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5837960	A	17-11-1998	NONE	
US 5431967	A	11-07-1995	US 5296062 A	22-03-1994
			US 5076869 A	31-12-1991
			US 4944817 A	31-07-1990
			US 5382308 A	17-01-1995
			US 5284695 A	08-02-1994
			US 5156697 A	20-10-1992
			US 5182170 A	26-01-1993
			AT 155381 T	15-08-1997
			AT 160960 T	15-12-1997
			AU 643700 B	25-11-1993
			AU 6206590 A	14-03-1991
			CA 2024592 A	06-03-1991
			DE 9018138 U	08-02-1996
			DE 69031061 D	21-08-1997
			DE 69031061 T	30-10-1997
			DE 69031808 D	22-01-1998
			DE 69031808 T	02-04-1998
			DK 714725 T	10-08-1998
			EP 0416852 A	13-03-1991
			EP 0714725 A	05-06-1996
			ES 2104588 T	16-10-1997
			ES 2111408 T	01-03-1998
			JP 3183530 A	09-08-1991
			US 5147587 A	15-09-1992
WO 9856566	A	17-12-1998	EP 1009614 A	21-06-2000
WO 9710067	A	20-03-1997	DE 19533960 A	20-03-1997
			AT 197259 T	15-11-2000
			DE 59606092 D	07-12-2000
			EP 0790875 A	27-08-1997
DE 19817091	A	21-10-1999	BR 9903184 A	25-04-2000
			DE 19826138 A	30-12-1999
			EP 0950461 A	20-10-1999
			HU 9901223 A	28-02-2000
			JP 11320136 A	24-11-1999
			PL 332537 A	25-10-1999

